

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
JÔNATAS VINICIUS ALVES SILVA

PROJETO CAMBÃO METÁLICO

CASCADEL - PR
2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
JÔNATAS VINICIUS ALVES SILVA

PROJETO CAMBÃO METÁLICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial de avaliação para obtenção do título de Engenheiro Mecânico pelo Centro Universitário FAG.

Professor orientador Engenheiro Mecânico José Claudio Terra Silveira.

CASCADEL - PR

2018

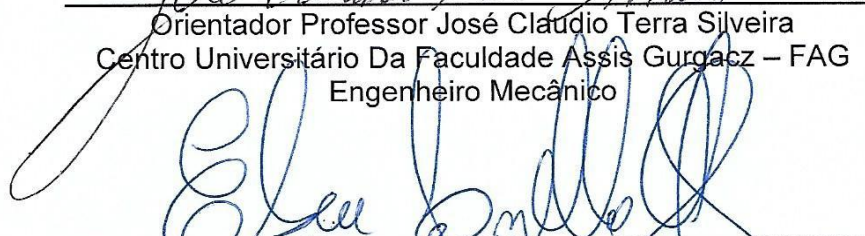
CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
JÔNATAS VINIVÍUS ALVES SILVA

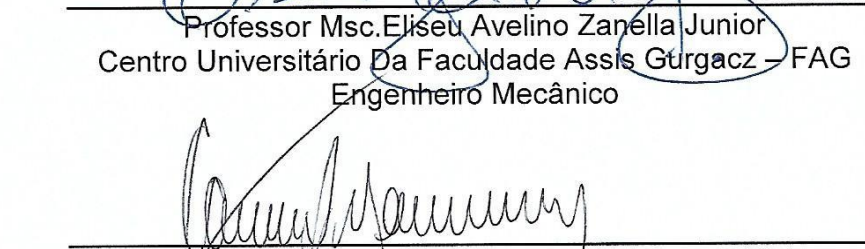
PROJETO CAMBÃO METÁLICO

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica sob orientação do Professor José Claudio Terra Silveira.

BANCA EXAMINADORA


Orientador Professor José Claudio Terra Silveira
Centro Universitário Da Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico


Professor Msc. Eliseu Avelino Zanella Junior
Centro Universitário Da Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico


Professor Carlos Eduardo Goulart Ferreira
Centro Universitário Da Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Cascavel, 19 de junho de 2018

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sempre tem me presenteado com o caminho certo e por ter colocado tantas pessoas maravilhosas em minha vida.

À minha esposa Vanessa, pessoa com quem amo partilhar a vida. Obrigado pelo carinho, paciência e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre, obrigado pelo incentivo e ajuda dispensada durante mais esta etapa vencida, pois vivenciei de perto todos os momentos de angústia, aflição e alegria.

A meus pais Roseli e Marcio e Oswaldo e amigos, que mesmo distantes, sempre ofereceram palavras de incentivo.

Ao meu orientador Prof. José Claudio, pelo apoio incondicional, paciência, orientação precisa.

Aos grandes amigos Roberto Camilo, Rene, Everton, Brian e Matheus por se fazerem presentes em todas as etapas da graduação.

Ao Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, pela disponibilização das instalações, permitindo assim os ensaios do projeto.

RESUMO

O cambão é um elemento utilizado há muito tempo, iniciou-se como um elemento de madeira utilizado para conectar as cargas aos animais que as puxavam. Atualmente o mesmo elemento ainda é utilizado, porém para outras finalidades, como por exemplo rebocar veículos sem condição de funcionamento, de acordo com o código de trânsito brasileiro. Com a possibilidades de mudar o material é comum encontrar o cambão de metal, pois o metal garante maior resistência e durabilidade. O correto dimensionamento do cambão propicia a diminuição da probabilidade de ser utilizado um elemento que não suporte a força para o qual será solicitado, ou a utilização de um elemento superdimensionado que também irá garantir seu funcionamento, porém por ser pesado dificulta seu manuseio. Para o dimensionamento foi levado em consideração a força para rebocar um veículo VW Worker 15.210 4x4, com seu carregamento máximo de 15.000 Kg, com os resultados dos cálculos escolheu-se um elemento em formato tubular de um material metálico com suas propriedades mecânicas conhecidas, que foi encontrado no mercado. Realizado o dimensionamento do mesmo, a escolha do material e a verificação através do ensaio de dois elementos confeccionados especificamente para o teste no qual um será submetido ao ensaio de tração e o outro ao ensaio de compressão realizado por um equipamento próprio para esta atividade. Através do resultado destes ensaios realizados, foi possível confrontar a carga que o elemento metálico tubular escolhido suportou, de fato se aproxima da força para o qual ele foi dimensionado concluindo que o dimensionamento atende aos objetivos propostos.

Palavras chaves: Rebocar. material. dimensionamento. segurança.

ABSTRACT

The hitch is an element that is used as a variable time, although it was a wooden element used to connect the loads to the animals that pulled them. The same is done is still used, however, for other purposes, such as towing vehicles without the condition of operation according to the Brazilian freight code, with the possibility of changing the material was found metal exchange, metal ensures greater strength and durability. What is scaled to your performance, that is, a domain that can be used in your performance, either because of its performance is difficult, or because of its performance hampered. For the dimensioning of a folding moving force, the VW Worker 15.210 4x4, with its maximum of 15,000 kg, and the results of the calculations were selected in tubular format of a metallic material with its known mechanical configurations, that was found in the market. Once the sizing is done, the choice of material and a test through the analysis of two elements made for the test will not be subjected to the tensile test and the compression test by a device suitable for this activity. Through the result of these Realized Tests, it was possible to confront the load that the chosen tubular metal element supported of Fact, approached the Force for which it was dimensioned, and conclude that the Sizing meets the proposed Objectives.

Keywords: Towing. material. sizing. safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Protótipo do veículo VW Worker 15.210 4x4.	14
Figura 2 – Teste de campo do veículo VW Worker 15.210 4x4.	15
Figura 3 – Diagrama tensão deformação.	20
Figura 4 – Barra submetida à tração.	23
Figura 5 – Barra submetida à compressão.	24
Figura 6 – Relação b/t para o valor de Q no cálculo da flambagem.	26
Figura 7 – Coluna sujeita a carga	27
Figura 8 – Curvas de flambagem.	28
Figura 9 – Corpo de prova para ensaio de tração	31
Figura 10 – Corpo de prova para ensaio de compressão	31
Figura 11 – Suporte de fixação.	32
Figura 12 – Pinos de fixação do corpo de prova no suporte.	33
Figura 13 – Máquina universal de ensaio mecânico.	33
Figura 14 – Rasgo do centro do furo até borda	40
Figura 15 – Rasgo do centro do furo até o canto.	40
Figura 16 – Conjunto para ensaio de tração	44
Figura 17 – Carga verificada para deformação permanente.	46
Figura 18 – Sinal visual de deformação no ensaio de compressão	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química do aço SAE 1020	17
Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1020 laminado.....	17
Tabela 3 – Módulo de elasticidade do aço	17
Tabela 4 – Tensão perigosa (σ_{adm})	18
Tabela 5 – Valor do fator de segurança.....	19
Tabela 6 – Capacidade técnica por eixo do veículo	21
Tabela 7 – Coeficiente de atrito.....	22
Tabela 8 – Curva “a” para valores do coeficiente de redução para flambagem (ρ)	28
Tabela 9 – Características do tubo selecionado.....	30
Tabela 10 – Distância do furo a borda do cambão	31
Tabela 11 – Características do equipamento	34
Tabela 12 – Dimensões (ALP – mm)	34
Tabela 13 – Seleção do valor do coeficiente de redução para flambagem (ρ)	39
Tabela 14 – Valores para as dimensões reais do cambão.....	39
Tabela 15 – Resultado do ensaio de tração.....	44
Tabela 16 - Resultado do ensaio de flambagem	45
Tabela 17 – Verificação dos resultados.....	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Tensão admissível.....	18
Equação 2 – Força normal.....	21
Equação 3 – Força de atrito	22
Equação 4 – Área de seção do tubo.....	23
Equação 5 – Índice de esbeltez.....	25
Equação 6 – Raio de giração	25
Equação 7 – Índice de esbeltez médio.....	26
Equação 8 – Resistência nominal à flambagem	27
Equação 9 – Tensão de cisalhamento	29
Equação 10 – Tensão de cisalhamento médio	29

LISTA DE ABREVIATURAS

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

NBR – Normas Brasileiras

PBT – Peso Bruto Total

VW – VolksWagem

ISO – Intenational Organization for Standardization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 PROBLEMAS DA PESQUISA	13
1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MATERIAIS	16
2.1.1 Metais	16
2.1.2 Ligas metálicas	16
2.1.3 Propriedades do aço carbono SAE 1020	17
2.2 TENSÃO ADMISSÍVEL	17
2.2.1 Fator de segurança	18
2.3 DEFORMAÇÃO	19
2.3.1 Diagrama tensão-deformação	19
2.3.2 Comportamento elástico	20
2.3.3 Comportamento plástico	21
2.4 FORÇA DE ATRITO	21
2.4.1 Coeficiente de atrito	22
2.5 RESISTÊNCIA DO MATERIAL	22
2.5.1 Esforço de tração	23
2.5.2 Esforço de compressão	24
2.6 ESFORÇO FLAMBAGEM	24
2.6.1 Índice de esbeltez	25
2.6.2 Raio de giração	25
2.6.3 Índice de esbeltez médio	26
2.6.4 Resistência nominal à flambagem	26
2.7 RASGAMENTO NA ÁREA DO FURO	29
2.7.1 Tensão de cisalhamento	29
3 METODOLOGIA	30

3.1 MATERIAIS	30
3.1.1 Seleção do tubo.....	30
3.1.2 Preparação do corpo de prova	30
3.1.3 Suporte da máquina	32
3.1.4 Pino de fixação de prova	32
3.1.5 Máquina universal para ensaios mecânicos.....	33
3.2 MÉTODOS	35
3.2.1 Cálculo de força normal	35
3.2.2 Cálculo da força de atrito.....	35
3.2.3 Dimensionamento do tubo.....	36
3.2.4 Cálculo da área do tubo para solicitação de tração.....	36
3.2.5 Cálculo da área do tubo selecionado	37
3.2.6 Cálculo da resistência a flambagem	37
3.2.7 Cálculo raio de giração	37
3.2.8 Cálculo do índice de esbeltez	37
3.2.9 Cálculo do índice de esbeltez médio	38
3.2.10 Cálculo da resistência nominal à flambagem	38
3.2.11 Cálculo da resistência do rasgo	39
3.2.12 Rasgamento do centro do furo até a borda furo.....	40
3.2.13 Rasgamento do centro do furo até o canto da parte amassada	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
4.1 CONSIDERAÇÕES	43
4.1.1 Ensaio de tração.....	43
4.1.2 Ensaio de flambagem	45
4.1.3 Resultados.....	47
5 CONCLUSÃO.....	48
5.1 TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O cambão era tradicionalmente uma peça de madeira que se prendia a aparelhos movidos por tração animal, atualmente também é utilizado como um elemento metálico para rebocar veículos em situações de pane. Segundo o CTB, artigo 236 Capítulo XV, rebocar outro veículo com cabo flexível ou corda, salvo em casos de emergência, é infração média com penalidade de multa, tem como objetivo auxiliar veículos que realizem esta atividade de forma a trazer segurança durante a atividade. Não é permitido utilizar elementos flexíveis como correntes, cabo de aço ou cordas, porém pode ser utilizado elemento rígido como o cambão para ser engatado entre os veículos, trazendo um maior controle do reboque, impedindo que o veículo de trás colida com o que está sendo rebocando por imperícia do condutor. Vale ressaltar que é autorizado utilizar algum tipo de elemento flexível para rebocar veículos em caso de emergência apenas em trajetos mais curtos com a finalidade de retirar o veículo da via, afim de manter a segurança dos outros usuários. Com o objetivo de trazer segurança para a atividade de rebocar, será feito o dimensionamento do cambão.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Dimensionar e ensaiar o dispositivo tipo cambão utilizado para rebocar o veículo Volkswagen Worker 15.210, 4x4.

1.1.2 Objetivos específicos

- Selecionar o material do dispositivo;
- Verificar os esforços atuantes;
- Determinar o fator de segurança;
- Dimensionar;
- Fabricar modelo para ensaio;
- Realizar o ensaio do dispositivo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Quando um veículo da linha pesada apresenta algum tipo de falha mecânica, este é levado para uma oficina e muitas vezes é conduzido até o local por algum tipo de veículo especial, destinado somente para esta atividade. Devido a dificuldade de manobrar um veículo pesado manualmente se faz necessário a utilização de outro veículo e do elemento cambão.

A falha de um equipamento desta espécie pode ter grandes consequências podendo ocasionar problemas mais grave de um prejuízo material até um acidente com vítimas fatais, por este motivo é necessário que sejam realizados cálculos e testes de modo que o dimensionamento esteja correto, para que o cambão possa suportar as forças na qual estará sujeito de forma segura.

1.3 PROBLEMAS DA PESQUISA

Devido a grande variedade de situações onde poderia ser aplicado o cambão, seja para rebocar ou para retirar o veículo de alguma situação incomum, o objetivo deste trabalho é abordar uma situação que já ocorre no dia a dia dos profissionais que lidam com a manutenção mecânica do mesmo, que é a movimentação dentro do pátio da oficina, na maioria dos casos o veículo chega já sem carga, porém foi considerada a pior condição onde o veículo estaria com sua carga plena.

A falta de uma legislação específica onde determinam as normas e procedimentos a serem seguidos para correta fabricação do elemento com embasamento técnico, faz com que este trabalho seja feito com base em cálculos de dimensionamento e ensaios no laboratório.

Como realizar de forma segura e eficaz o dimensionamento de um cambão metálico?

1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A delimitação do tema ficou atrelada a confecção de um cambão metálico para utilizar em veículos pesados sem condição de funcionamento e que necessite ser rebocado para o local que será realizado sua manutenção. Será feito a análise dos esforços considerando a pior condição, o caminhão com sua carga máxima somada ao seu peso num total de 15000 Kg.

A **resolução nº 396, de 13 de dezembro de 2011 do CONTRAN** classifica os veículos conforme seu peso bruto total. II - “VEÍCULOS PESADOS” correspondendo a ônibus, micro-ônibus, caminhão, caminhão-trator, trator de rodas, trator misto, chassi-plataforma, motor-casa, reboque ou semirreboque e suas combinações.

O veículo da Figura 1, utilizado como referência foi o caminhão militarizado Volkswagen Worker 15.210, 4x4, adaptado para atividades em terrenos arenosos, alagados e com lama, como mostrado na Figura 2, conferindo a este veículo os requisitos operacionais básicos.

Figura 1 –Protótipo do veículo VW Worker 15.210 4x4.



Fonte: Volkswagen Caminhões e ônibus (2012).

Figura 2 – Teste de campo do veículo VW Worker 15.210 4x4.



Fonte: Volkswagen Caminhões e ônibus (2012).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATERIAIS

Os materiais de engenharia, são classificados basicamente em três tipos: metais, cerâmicas e polímeros. Segundo Callister (2011), esse esquema está baseado principalmente na composição química e na estrutura atômica, e a maioria dos materiais se enquadra dentro de um ou de outro grupo distinto, embora existam alguns materiais intermediários.

2.1.1 Metais

Os materiais deste grupo são compostos por um ou mais elementos metálicos (tais como ferro, alumínio, cobre, titânio, ouro e níquel) e, com frequência, também elementos não-metálicos (por exemplo, carbono, nitrogênio, oxigênio) em quantidades relativamente pequenas (CALLISTER, 2011).

2.1.2 Ligas metálicas

As ligas metálicas são classificadas conforme a sua composição, podendo ser classificadas em ferrosas e não-ferrosa. As ligas ferrosas, aquelas em que o ferro é o principal constituinte, incluem os aços e ferros fundidos (CALLISTER, 2011).

Nos aços as propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono, que é normalmente inferior a 1,0%p (CALLISTER, 2011).

A resistência dos materiais, está ligada diretamente a sua composição química, seu processo de fabricação e dimensões.

2.1.3 Propriedades do aço carbono SAE 1020

Tabela 1 – Composição química do aço SAE 1020

Elementos	%
Carbono (C)	0,18 – 0,23
Manganês (Mn)	0,30 – 0,60
Fósforo (P)	$\leq 0,030$
Enxofre (S)	$\leq 0,050$

Fonte: Guia do aço ArcelorMittal (2013)

Tabela 2 – Propriedades mecânicas do aço SAE 1020 laminado

Propriedade	MPA
Limite de resistência à tração	380
Limite escoamento	210

Fonte: Guia do aço ArcelorMittal (2013).

Tabela 3 – Módulo de elasticidade do aço

Propriedade	GPA
Módulo de elasticidade	205

Fonte: NBR 8800 (1986).

2.2 TENSÃO ADMISSÍVEL

Durante um projeto o engenheiro deve impor que as tensões atuantes no material estejam em um nível seguro, também deve utilizar as tensões admissíveis em seus cálculos para comprovar os níveis de segurança. De acordo com Hibbeler (2010), para se garantir a segurança, é preciso escolher uma tensão admissível que restrinja a carga aplicada a um valor menor do que a carga que o elemento pode suportar totalmente.

O valor da tensão atuante obtida através dos cálculos, deve ser comparada a tensão máxima admissível do material que será utilizado na fabricação.

Isto se torna necessário porque as cargas aplicadas sobre o elemento podem ser diferentes para o qual ele foi projetado, além da possibilidade ocorrer situações que não foram pensadas durante o projeto como vibrações, cargas acidentais ou impactos.

A tensão considerada perigosa pode ser escolhida com base em testes realizados no material ou pelo responsável do projeto. Segundo Carvalho e Moraes (1982), Em geral, toma-se o limite de escoamento do material para material dúctil e carga constante.

Tabela 4 – Tensão perigosa (σ_{adm})

Carga	Material	Tensão Perigosa
Gradualmente aplicada	Dúctil	σ_e

Fonte: Carvalho e Moraes (1982).

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{FS} \quad (1)$$

Em que:

σ_{adm} – tensão admissível (MPa);

σ_e – limite de escoamento (MPa);

FS – fator de segurança (adimensional).

2.2.1 Fator de segurança

O fator de segurança ou coeficiente de segurança é a forma de encontrar qual a tensão admissível do material utilizado no projeto, este é a razão entre a carga de ruptura e a carga admissível. A carga de ruptura é encontrada por ensaios do material. Segundo Beer e Johnston Junior (1995), quando se aplica a carga admissível, apenas uma parte da capacidade de resistência do material está sendo utilizada; outra parte é reservada para assegurar ao material condições de utilização segura. (BEER; JOHNSTON JUNIOR, 1995).

Segundo Hibbeler (2010), um método para especificação da carga admissível para o projeto ou análise de um elemento é o uso de um número denominado fator de segurança.

Tabela 5 – Valor do fator de segurança

Carga		FS
Constante	Gradualmente aplicada	1,5 a 2
	Subitamente aplicada	3,0 a 4,0

Fonte: Adaptado Carvalho e Moraes (1982)

2.3 DEFORMAÇÃO

A deformação é a mudança na distância entre dois pontos de um segmento de reta ou ângulo. A medição da deformação é feita de forma experimental e está diretamente relacionada com as cargas que aplicadas ou tensões que agem no interior do corpo.

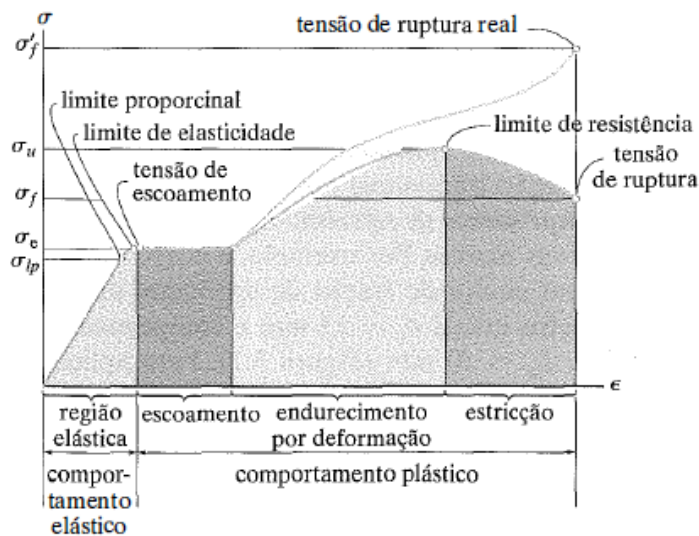
É de grande importância impedir que as deformações oriundas das cargas aplicadas se tornem tão grandes ao ponto de não conseguir desempenhar a função para o qual foi projetada.

2.3.1 Diagrama tensão-deformação

É obtido através de um ensaio feito em um corpo de prova, gera um gráfico relacionando estas duas grandezas sendo a tensão representada na ordenada e a deformação na abscissa, onde é possível observar as fases do material quando submetido a uma carga gradativa. O diagrama apresenta resultados diferentes dependendo do material, e para o mesmo material o resultado pode variar dependendo das condições onde é realizado o ensaio.

Segundo Carvalho (1982), o estudo (e o entendimento correto dos seus diferentes pontos) é de suma importância.

Figura 3 – Diagrama tensão deformação.



Fonte: Hibbler (2010).

2.3.2 Comportamento elástico

O material se comporta de forma elástica, na primeira parte da figura, a deformação ocorre de forma linear em sua maior parte, desta forma esta é proporcional à tensão. Podemos afirmar que o material é linearmente elástico. Quando o limite ultrapassa essa relação é dado o nome de limite de proporcional. Se a tensão ultrapassar o limite proporcional em pouca quantidade o material pode retornar ao seu regime elástico, porém com aplicação contínua da carga o material tende a atingir o seu limite de elasticidade. Mesmo neste ponto se cessada a carga, o corpo de prova ainda mantém seu comportamento elástico, o fato desses pontos estarem bem próximos no aço, torna - se difícil encontrá-lo. De acordo com Beer e Johnston Junior (1995), um material tem comportamento elástico quando as deformações causadas por um certo carregamento desaparecem com a retirada do carregamento.

2.3.3 Comportamento plástico

Com uma aplicação de carga acima do limite de elasticidade, ocasionará a sua deformação permanente e conseqüentemente do colapso material. Este fenômeno é denominado escoamento, demonstrado na segunda região do diagrama tensão deformação. Esta tensão de escoamento é a causadora desta deformação permanente que é dada o nome de deformação plástica. (BEER; JOHNSTON JUNIOR, 1995), não voltar ao ponto zero indica que o material sofreu uma deformação permanente ou plástica.

2.4 FORÇA DE ATRITO

De acordo com Hallyday, Resnick (2008), Força de atrito é, em essência, o vetor resultante de muitas forças que agem entre os átomos da superfície de um corpo e os átomos da superfície do outro corpo. Considerando uma força de resistência oposta ao movimento relativo dos corpos, chamada de força de atrito dinâmico. (JÚNIOR; FERRARO; SOARES, 1993).

É estabelecida pela multiplicação entre a força de normal de contato com a superfície, como reação do próprio peso do veículo multiplicado pelo coeficiente de atrito.

Tabela 6 – Capacidade técnica por eixo do veículo

Capacidade por eixo	Carga (Kg)
Dianteiro	5000
Traseiro	10000

Fonte: Volkswagen (2012).

Segundo Júnior, Ferraro e Soares (2007), a força de contato, por ser perpendicular à superfície de contato, é chamada força normal ou reação normal do apoio.

$$N = m \times g \quad (2)$$

Em que:

N – força normal (N);

m – capacidade técnica por eixo (Kg);

g – gravidade (m/s^2).

2.4.1 Coeficiente de atrito

É uma constante de proporcionalidade adimensional, seu valor pode variar dependendo da natureza das superfícies em contato. De acordo com Júnior, Ferraro e Soares (2007), a intensidade da força de atrito, dentro de uma boa aproximação, é proporcional à intensidade da força normal.

De acordo com Halliday, Resnick e Walker (2008), em geral, a intensidade da força de atrito cinética, que age sobre os objetos em movimento, é menor do que a intensidade máxima da força de atrito estático, que age sobre os objetos em repouso.

Tabela 7 – Coeficiente de atrito

Interface	Coeficiente de atrito estático	Coeficiente de atrito dinâmico
Pneu - asfalto seco	0,5	0,3
Pneu – asfalto molhado	0,3	0,15

Fonte: ISO 21182 (2013).

$$F_{at} = \mu \times N \quad (3)$$

Em que:

F_{at} – força de atrito (N);

μ – coeficiente de atrito (adimensional),

N – força normal (N).

2.5 RESISTÊNCIA DO MATERIAL

A determinação da resistência de um material depende da capacidade de deformar dentro do seu regime elástico ou não atingir o limite plástico e acabar rompendo quando submetido a uma carga, por este motivo é de suma importância o correto dimensionamento dos elementos para que não ocorra falha. Essa característica varia de acordo com o material que é utilizado. Uma das formas de determiná-la é o ensaio de compressão ou tração.

O dimensionamento deve identificar o tipo de solicitação que o câmbio será sujeito. (CUNHA, 2005).

2.5.1 Esforço de tração

A tração em um tubo metálico é a aplicação de duas forças axiais na mesma direção e de sentidos contrários, pode ocasionar o alongamento do tubo no sentido das forças atuantes. Segundo Beer e Johnston Junior (1995), a intensidade dessas forças distribuídas é igual a força por unidade de área na seção transversal. O fato de a barra se quebrar ou não sob a ação da força depende, então, da capacidade do material resistir à intensidade das forças distribuídas.

$$A = \frac{F}{\sigma_{adm}} \quad (4)$$

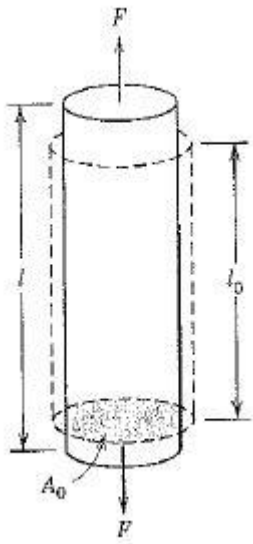
Em que:

σ_{adm} – tensão admissível (MPa);

F – força para retirar o veículo da inercia(N);

A – área da seção do tubo (m²).

Figura 4 – Barra submetida à tração.

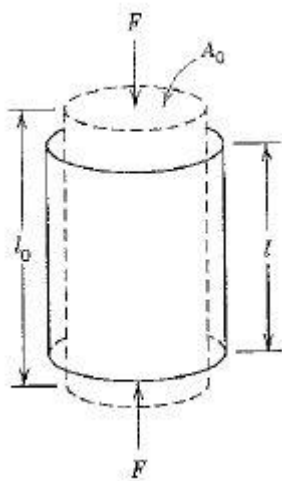


Fonte: Callister (2000).

2.5.2 Esforço de compressão

A compressão em um tubo metálico é a aplicação de duas forças axiais na mesma direção e sentidos contrários, pode ocasionar a redução do tubo no sentido das forças atuantes, ou flambagem. Segundo Hibbeler (2010), uma força de compressão que age sobre um corpo provoca contração na direção da força e, no entanto, seus lados se expandem lateralmente.

Figura 5 – Barra submetida à compressão.



Fonte: Callister (2000).

2.6 ESFORÇO FLAMBAGEM

A flambagem é a deformação de em uma peça causada por uma força de compressão axial. Como consequência, a peça pode perder sua estabilidade e acabar entrando em colapso. (CUNHA, 2005). Segundo Hibbeler (2010), visto que uma coluna ideal é reta, teoricamente a carga axial poderia ser aumentada até ocorrer falha por ruptura ou escoamento do material.

Segundo Hibbler (2010), alguns elementos estruturais podem estar sujeitos a cargas de compressão e, se forem compridos e esbeltos, a carga poderá ser grande o suficiente para provocar uma deflexão ou uma oscilação lateral.

Segundo Beer e Johnston Junior (1995), a coluna estará bem dimensionada se a área da seção transversal for escolhida de modo que o valor da tensão em qualquer seção transversal fique abaixo da tensão admissível do material.

2.6.1 Índice de esbeltez

Segundo Hibbeler (2010), podemos ver que a flambagem sempre ocorrerá em torno do eixo da coluna que tenha o maior índice de esbeltez, visto que um grande índice de esbeltez resultará em pequena tensão crítica.

$$\lambda = \frac{K \times L}{r_{min}} \quad (5)$$

Em que:

λ – índice de esbeltez (adimensional);

K – Parâmetro utilizado no cálculo do comprimento de flambagem (adimensional).;

L – comprimento do tubo (m);

r_{min} – raio de giração (m).

Segundo Pinheiro (2005), o parâmetro de esbeltez (λ) é limitado a um valor máximo: $\lambda_{max} = 200$. Caso o valor exceda este valor o tubo deverá ser trocado.

2.6.2 Raio de giração

Segundo NBR 8800 (1986), raio de giração da seção transversal bruta cilíndrica oca, relativo ao eixo em torno do qual se dá a flambagem.

$$r_{min} = \frac{\sqrt{(D^2 + d^2)}}{4} \quad (6)$$

Em que:

r_{min} – raio de giração (m);

D – diâmetro externo do tubo (m);

d – diâmetro interno do tubo (m).

2.6.3 Índice de esbeltez médio

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \times \frac{K \times L}{r_{min}} \times \sqrt{\frac{Q \times f_y}{E}} \quad (7)$$

Em que:

$\bar{\lambda}$ – índice de esbeltez médio (adimensional);

K – parâmetro para cálculo de flambagem (adimensional);

L – comprimento do tubo (m);

r_{min} – raio de giração (m);

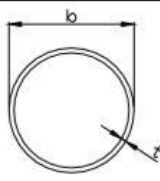
Q – coeficiente de redução que considera a flambagem local (adimensional);

f_y – tensão de escoamento do aço (MPa);

E – módulo de elasticidade do aço (GPa);

Segundo NBR 8800 (1986), $Q = 1,0$ para seções cujos elementos tem relações b/t iguais ou inferiores às dadas na figura 6 para seções classe 3 (compressão).

Figura 6 – Relação b/t para o valor de Q no cálculo da flambagem

Casos	Descrição do elemento	Elementos	Classe	Tipo de solicitação na seção	$(b/t)_{max}$	$f_y=250$	$f_y=290$	$f_y=345$
4	Elementos tubulares de seção circular.		1	M e N	$0,064 \frac{E}{f_y}$	52	45	38
			2	M	$0,087 \frac{E}{f_y}$	71	62	52
			3	N	$0,11 \frac{E}{f_y}$	90	78	65

Fonte: NBR 8800 (1986).

2.6.4 Resistência nominal à flambagem

No dimensionamento de alguma estrutura é importante que satisfaça critérios de resistência e estabilidade. É preciso dar a devida importância para que este elemento consiga suportar com segurança as cargas. Segundo Hibbler (2010), a carga axial máxima que uma coluna pode suportar quando está na iminência de sofrer flambagem é denominada carga crítica.

Figura 7 – Coluna sujeita a carga



Fonte: Hibbeler (2010).

$$N_d = 0,9 \times \rho \times Q \times A \times f_y \quad (8)$$

Em que:

N_d – resistência nominal à flambagem (N);

ρ – coeficiente de redução para flambagem (adimensional);

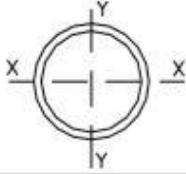
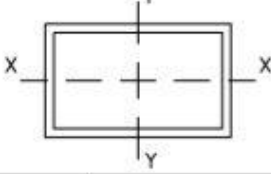
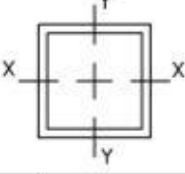
A – área da seção do tubo (m²);

Q – coeficiente de redução que considera a flambagem local (adimensional);

f_y – tensão de escoamento do aço (MPa).

Sabendo que a curva de flambagem de um elemento de seção tubular é a curva “a” como mostra a Figura 8, o valor do coeficiente de redução para flambagem (ρ), será retirado da Tabela 8, utilizando como referência o valor do índice de esbeltez médio ($\bar{\lambda}$).

Figura 8 – Curvas de flambagem

Seção transversal	Flambagem em torno do eixo	Curva de flambagem (A)
Perfil tubular   	x – x y – y	a

Fonte: NBR 8800 (1986).

A Tabela 8, mostra os valores do coeficiente de redução para flambagem (ρ), referente a curva de flambagem citado na Figura 8. Para a obter do coeficiente de redução para flambagem (ρ), entra-se na Tabela 8 com o valor do índice de esbeltez médio ($\bar{\lambda}$), utilizando o primeiro número da casa decimal após a virgula na primeira coluna e o próximo número na primeira linha.

Tabela 8 – Curva “a” para valores do coeficiente de redução para flambagem (ρ)

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,0
0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,1
0,2	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,958	0,985	0,983	0,981	0,2
0,3	0,978	0,977	0,973	0,971	0,965	0,966	0,963	0,961	0,958	0,956	0,3
0,4	0,954	0,953	0,948	0,945	0,942	0,939	0,936	0,933	0,930	0,926	0,4
0,5	0,923	0,919	0,916	0,912	0,908	0,904	0,900	0,896	0,892	0,889	0,5
0,6	0,884	0,881	0,877	0,873	0,869	0,866	0,861	0,857	0,854	0,849	0,6
0,7	0,845	0,842	0,836	0,831	0,826	0,821	0,816	0,812	0,807	0,802	0,7
0,8	0,796	0,795	0,786	0,781	0,775	0,769	0,763	0,758	0,752	0,746	0,8
0,9	0,739	0,734	0,727	0,721	0,714	0,708	0,701	0,695	0,688	0,681	0,9
1,0	0,675	0,668	0,661	0,654	0,647	0,640	0,634	0,629	0,619	0,613	1,0
1,1	0,606	0,599	0,593	0,585	0,579	0,573	0,565	0,559	0,553	0,547	1,1
1,2	0,542	0,533	0,527	0,521	0,515	0,509	0,503	0,497	0,491	0,485	1,2
1,3	0,480	0,474	0,469	0,463	0,456	0,453	0,447	0,442	0,437	0,432	1,3
1,4	0,427	0,422	0,417	0,412	0,408	0,403	0,395	0,394	0,389	0,386	1,4
1,5	0,381	0,375	0,372	0,368	0,364	0,360	0,356	0,352	0,345	0,344	1,5
1,6	0,341	0,337	0,333	0,330	0,326	0,323	0,319	0,316	0,312	0,309	1,6
1,7	0,306	0,303	0,300	0,298	0,294	0,291	0,288	0,285	0,282	0,280	1,7
1,8	0,277	0,274	0,271	0,269	0,266	0,264	0,261	0,258	0,256	0,253	1,8
1,9	0,251	0,248	0,246	0,243	0,242	0,239	0,236	0,234	0,232	0,230	1,9
2,0	0,228	0,226	0,224	0,222	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	2,0
2,1	0,208	0,206	0,204	0,202	0,205	0,199	0,197	0,196	0,194	0,192	2,1
2,2	0,191	0,189	0,187	0,186	0,184	0,183	0,185	0,180	0,179	0,177	2,2
2,3	0,175	0,174	0,172	0,170	0,168	0,167	0,166	0,165	0,164	0,163	2,3
2,4	0,162	0,160	0,159	0,158	0,156	0,155	0,154	0,153	0,152	0,150	2,4
2,5	0,149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,5

Fonte: NBR 8800 (1986).

2.7 RASGAMENTO NA ÁREA DO FURO

2.7.1 Tensão de cisalhamento

A tensão de cisalhamento segundo Hibbeler (2010), a intensidade da força ou unidade de área, que age tangente a área.

$$\tau_e = \frac{V}{A_r} \quad (9)$$

Em que:

τ_e – tensão de cisalhamento (MPa);

V – esforço cortante (N);

A_r – área da seção do rasgo (m²).

Segundo Carvalho e Moraes (1982), “normalmente a resistência ao escoamento por cisalhamento situa-se entre 0,5 a 0,6 do escoamento por tração”.

$$\tau_e = 0,6 \times \sigma_r \quad (10)$$

Em que:

τ_e – tensão de cisalhamento (MPa);

σ_r – limite de escoamento (MPa).

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

Os cálculos utilizados para a obtenção dos valores das cargas para o qual o cambão deve suportar, foram retirados das literaturas citadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

3.1.1 Seleção do tubo

Foi selecionado um tubo SAE 1020 laminado, através do cálculo da área de seção necessário, foram analisados diversos tipos de composição de aços e diâmetros, porém foi selecionado este tubo por ser encontrado com mais facilidade na região de Cascavel.

Tabela 9 – Características do tubo selecionado

Diâmetro externo (mm)	63,5
Diâmetro interno (mm)	54,00
Área da seção (mm ²)	876,7
Espessura da parede (mm)	4,75
Peso específico (Kg/m)	5,70

Fonte: Próprio autor (2018).

3.1.2 Preparação do corpo de prova

Os corpos de prova serão construídos em aço SAE 1020 com as especificações citadas na Tabela 9. Ambos com o comprimento de 0,5 m cortados com uma serra. Para o ensaio de tração na Figura 9, suas pontas foram amassadas em uma prensa hidráulica manual, ficando ao final deste processo com o comprimento de 950 mm e posteriormente feito a furação em ambas as extremidades com diâmetro de 35,5 mm, pois os pinos da Figura 12, usados no ensaio são os mesmos utilizados no veículo VW Worker 15.210 4x4. Para o ensaio de compressão foi utilizado o tubo somente com as extremidades cortadas na serra, mantendo as proporções, como na Figura 10.

Tabela 10 – Distância do furo a borda do cambão

Diâmetro do furo (d)	Borda cortada com serra (mm)
$> 1 \frac{1}{4}''$	$1,75 \times d$

Fonte: Pinheiro (2005).

A distância do centro do furo por onde passa o pino até a extremidade do corpo de prova da Figura 9, foi calculado utilizando a Tabela 10, sendo assim a distância teria que ser de 62,125 mm, mas por questão de precisão foi adotado a distância do centro do furo até a extremidade do cambão um valor de 63mm.

Figura 9 – Corpo de prova para ensaio de tração



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 10 – Corpo de prova para ensaio de compressão



Fonte: Próprio autor (2018).

3.1.3 Suporte da máquina

O suporte de fixação mostrado na Figura 11, foi utilizado para fixação do conjunto na máquina universal de ensaio mecânico para realização do ensaio de tração. O mesmo é composto por uma barra de aço unido por solda à uma chapa de 8 mm de espessura dobrada com furação lateral de 38 mm por onde são passados os pinos que fixarão o corpo de prova.

Figura 11 – Suporte de fixação



Fonte: Próprio autor (2018)

3.1.4 Pino de fixação de prova

Os pinos utilizados no ensaio de tração mostrados na Figura 12, são de aço com 35,00 mm de diâmetro, estes pinos são fixados no veículo quando o mesmo é rebocado, estes pinos foram retirados do veículo e levados ao laboratório para a realização do ensaio de tração.

Figura 12 – Pinos de fixação do corpo de prova no suporte



Fonte: Próprio autor (2018).

3.1.5 Máquina universal para ensaios mecânicos

Foi utilizado o equipamento mostrado na figura 13, uma máquina universal de ensaios modelo I-3058 fabricada pela empresa Contenco. Capacidade de 100T, para ensaios mecânicos de tração, flexão, compressão, cisalhamento, dobramento de materiais como aço de construção mecânica, aço de construção civil e outros materiais.

Figura 13 – Máquina universal de ensaio mecânico



Fonte: Próprio autor (2018).

O equipamento é fabricado em aços especiais, colunas de aço inoxidável maciço e bases de aço. Sistema mecânico com cilindro pistão de simples efeito, movimenta sua base inferior em conjunto com as colunas. Um motor aciona o redutor que faz girar as colunas rosqueadas.

Tabela 11 – Características do equipamento

Tensão de alimentação (V)	220 ou 380
Potência (W)	2500
Frequência (Hz)	50/60
Carga taxa (Kgf/seg)	50-1500
Deslocamento máximo do curso (mm)	150
Altura útil de acionamento sem dispositivo (mm)	700
Largura entre colunas (mm)	400

Fonte: Catálogo Contenco I – 3058.

Tabela 12 – Dimensões (ALP – mm)

Estrutura	2710 x 1500 x 670
Gabinete	1090 x 570 x 600

Fonte: Catálogo Contenco I – 3058.

Sua mesa possui um sistema conectado às colunas rosqueadas, que faz o seu movimento para cima ou para baixo com a inversão do sentido de rotação do motor. As mesas superior e intermediária possuem alojamentos que fazem a fixação e o auto travamento do corpo de prova e seu suporte.

O software em visual basic, promove a integração com o sistema e permite o comando, controle e monitoração dos ensaios, com cadastramento de amostras e corpos de prova, traçado de gráficos, armazenamento de dados e emissão de relatórios.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Cálculo de força normal

A reação da força normal (N) foi calculada através da Equação 2, utilizando a caga total dos eixos (m) da Tabela 6 multiplicado pela gravidade (g), adaptada de Júnior, Ferraro e Soares (2007).

$$N = 15000 \times 9,81$$

$$N = 147,15 \text{ KN}$$

Com base nos cálculos temos que a reação da soma capacidade técnica por eixo do veículo, a força normal $N = 147,15 \text{ KN}$.

3.2.2 Cálculo da força de atrito

Como dito no item 2.4.1, a intensidade da força de atrito estático é maior que o dinâmico, então este foi considerado o pior caso pois, exige maior resistência. A força para retirar o veículo da inercia será a força de atrito (Fat) que foi calculada através da multiplicação do valor do coeficiente de atrito estático (μ) retirado da Tabela 7 e a força normal (N) calculada no item 3.2.1, através da Equação 3, adaptada de Halliday, Resnick e Walker (2008), adaptada de Júnior, Ferraro e Soares (2007).

$$Fat = 0,5 \times 147,150.0$$

$$Fat = 73,58 \text{ KN}$$

Conforme calculado neste item verificou-se que a força necessária para retirar o veículo da inércia será a força de atrito $Fat = 73,58 \text{ KN}$.

3.2.3 Dimensionamento do tubo

Como calculado no item 3.2.2, obtemos a força necessária para rebocar o veículo e consequente a força ao qual o tubo deverá resistir, de modo que este não se rompa e consiga ser empregado na atividade de forma segura.

Cálculo da tensão admissível

A tensão admissível foi calculada através da Equação 1, da divisão dos valores de limite de escoamento (σ_e) da Tabela 2, a média do fator de segurança (FS) da Tabela 5 considerando o material dúctil e a carga gradualmente aplicada, conforme citou Segundo Carvalho e Moraes (1982). Portanto:

$$\sigma_{adm} = \frac{210}{1,75}$$

$$\sigma_{adm} = 120 \text{ MPa}$$

3.2.4 Cálculo da área do tubo para solicitação de tração

Será possível encontrar através da Equação 4 a área de seção do tubo realizando a divisão da força de atrito calculada no item 3.2.2 pela da tensão admissível (σ_{adm}), calculada no item 3.2.3, conforme citou Carvalho e Moraes (1982). Portanto:

$$A = \frac{73,580.0}{(120 \times 10^6)}$$

$$A = 613,17 \times 10^{-6} m^2$$

Como a área encontrada no item acima de $613,17 \text{ mm}^2$, não foi encontrada no comercio da região, foi selecionado um tubo de aço carbono 1020 com as medidas citados na tabela 9.

3.2.5 Cálculo da área do tubo selecionado

$$A = \frac{\pi \times (0.0635^2 - 0,054^2)}{4}$$

$$A = 876,70 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Como a área encontrada no item 3.2.4 não foi encontrada comercialmente, foi selecionado um tubo com área de seção que mais se aproxima deste valor. Com o valor da área do tubo encontrado na região, utilizando a Equação 4 verificamos que a força que este tubo suporta é de 105,20 KN, superior a força necessária na tração do veículo.

3.2.6 Cálculo da resistência a flambagem

3.2.7 Cálculo raio de giração

O raio de giração será calculado utilizando a Equação 6, através da extração da raiz quadrada do quadrado da soma do diâmetro externo (D) e diâmetro interno (d) do tubo retirado da tabela 10, dividido pelo fator de fórmula, conforme citou Pinheiro (2005).

$$r_{min} = \frac{\sqrt{(0,0635^2 - 0,054^2)}}{4}$$

$$r_{min} = 20,839 \times 10^{-3} \text{ m}$$

3.2.8 Cálculo do índice de esbeltez

O índice de esbeltez (λ) foi calculado utilizando a Equação 5, com a multiplicação do parâmetro para cálculo de flambagem pelo comprimento do corpo de prova (0,5 m) e dividindo pelo raio de giração (r_{min}) calculado no item 3.2.8, conforme NBR 8800.

Segundo NBR 8800, o parâmetro de flambagem “K” a ser utilizado no dimensionamento de barras comprimidas pode ser tomado igual a 1,0.

$$\lambda = \frac{1 \times 0,5}{20,839 \times 10^{-3}}$$

$$\lambda = 23,99$$

Como o valor obtido no cálculo acima $\lambda < 200$, o corpo de prova poderá ser mantido.

3.2.9 Cálculo do índice de esbeltez médio

O cálculo do índice de esbeltez médio ($\bar{\lambda}$) foi calculado utilizando a Equação 7, conforme Pinheiro (2005). Com a relação b/t da Figura 6, calculada através da divisão do diâmetro externo (b), pela espessura da parede do tubo (t) retirados da Tabela 9, foi obtido que o valor de b/t = 13,37, como o limite de escoamento utilizado para os cálculos foi de 210 MPa, fazendo uma interpolação entre os valores de limite de escoamento da Figura 6, vemos que o valor (b/t)_{máx} = 59, como o valor de b/t = 13,37 é inferior ao valor de (b/t)_{máx} e por consequência o valor do coeficiente de redução que considera a flambagem local será adotado $Q = 1$, seguindo o critério da Figura 6, classe 3 para compressão (N).

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\pi} \times \frac{1 \times 0,5}{20,839 \times 10^{-3}} \times \sqrt{\frac{1 \times 210 \times 10^6}{205 \times 10^9}}$$

$$\bar{\lambda} = 0,24$$

3.2.10 Cálculo da resistência nominal à flambagem

O cálculo da resistência nominal à flambagem foi feito utilizando a Equação 8, através da multiplicação coeficiente de redução para flambagem (ρ) retirado da Tabela 8.

Com o valor do índice de esbeltez médio $\bar{\lambda} = 0,24$ calculado no item 3.2.10, entramos na Tabela 13 e obtemos o valor do coeficiente de redução para flambagem $\rho = 0,992$.

Tabela 13 – Seleção do valor do coeficiente de redução para flambagem (ρ)

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,0
0,1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,1
0,2	1,000	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,958	0,985	0,983	0,981	0,2

Fonte: adaptado NBR 8800 (1986).

$$N_d = 0,9 \times 0,992 \times 1 \times (8,7670 \times 10^{-4}) \times (210 \times 10^6)$$

$$N_d = 164,37 \text{ KN}$$

A resistência nominal à (N_d) flambagem calculado acima, desconsiderou o fator de segurança (FS) retirado da Tabela 5, e adotado como $FS = 1,75$. Para obtermos a carga real devemos dividir N_d , pelo fator de segurança, obtendo o valor de $N_{d_{FS}} = 93,93 \text{ KN}$.

Tabela 14 – Valores para as dimensões reais do cambão

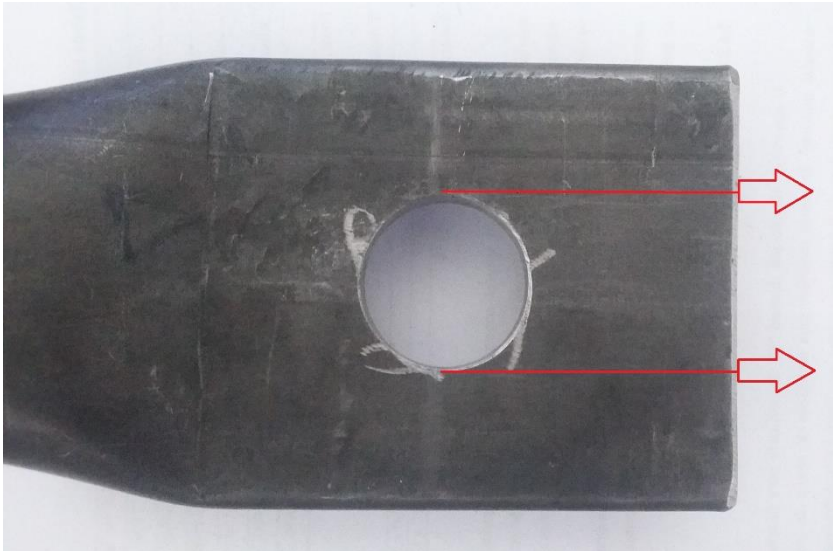
λ	95,97
$\bar{\lambda}$	0,97
ρ	0,695
N_d (KN)	115,16
$N_{d_{FS}}$ (KN)	65,80

Fonte: Próprio autor (2018).

3.2.11 Cálculo da resistência do rasgo

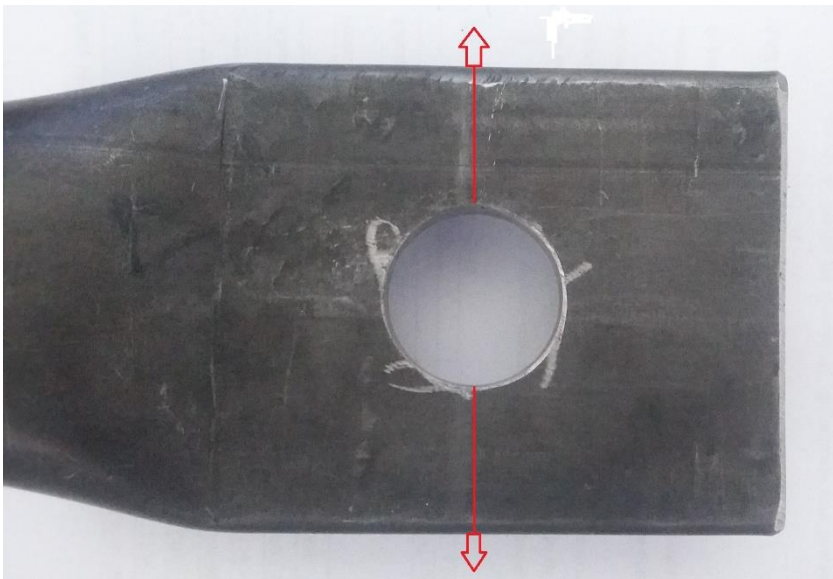
Conforme o cambão é solicitado pode ocorrer o rasgo na seção com furo em suas extremidades, porém este rasgo pode ocorrer de duas maneiras distintas. O rasgo pode ocorrer do centro do furo até a borda como na Figura 14, como consequência da pressão gerada pelo contato na área de seção do furo entre a parte amassada e o pino, ocasionando um rasgo por cisalhamento. O rasgo do centro do furo em direção ao canto da parte amassada como na Figura 15, é um rasgo por tração pois, não é causado na área de contato entre o furo e o pino. Um fator determinante para onde ocorrerá o rasgo são as áreas de resistência.

Figura 14 – Rasgo do centro do furo até borda



Fonte: Próprio autor (2018).

Figura 15 – Rasgo do centro do furo até o canto



Fonte: Próprio autor (2018).

3.2.12 Rasgamento do centro do furo até a borda furo

A tensão de cisalhamento foi calculada, utilizando o valor de resistência à tração retirado as Tabela 2, através da Equação 10, como citou Carvalho e Moraes (1982).

$$\tau_e = 0,6 \times 380$$

$$\tau_e = 0,6 \times 380$$

$$\tau_e = 228 \text{ MPa}$$

A área de do rasgo, será calculada utilizando a espessura do tubo da Tabela 9, multiplicado pela distância do centro do furo até a borda, como o rasgo pode acontecer em duas partes multiplica-se a área por dois.

$$A_r = 2 \times [(2 \times 4,75 \times 10^{-3}) \times (63 \times 10^{-3})]$$

$$A_r = 1,20 \times 10^{-3} m^2$$

Utilizando a Equação 10 como citou Hibbeler (2010), será encontrado o valor da força necessária para rasgar o furo realizado no corpo de prova.

$$(228 \times 10^6) = \frac{F}{(1,20 \times 10^{-3})}$$

$$F = 272,92 \text{ KN}$$

Com o valor obtido no cálculo acima a força para rasgar o furo, pode-se verificar que esta está acima da força calculada no item 3.2.2.

3.2.13 Rasgamento do centro do furo até o canto da parte amassada

A área de do rasgo será calculada utilizando a área bruta da parte amassada do tubo, menos a área do furo,

$$A_r = (0,095 \times 2 \times 0,00475) - (0,0355 \times 2 \times 0,00475)$$

$$A_r = 5,65 \times 10^{-4} m^2$$

Utilizando a Equação 10 como citou Hibbeler (2010), será encontrado o valor da força necessária para rasgar o furo realizado no corpo de prova.

$$(380 \times 10^6) = \frac{F}{(5,65 \times 10^{-4})}$$

$$F = 214,80 \text{ KN}$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES

Os ensaios de tração e compressão foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos estruturais e construção civil do centro universitário FAG, sem a intenção de levar o corpo de prova até sua ruptura e sim verificar se o mesmo atenderia aos valores obtidos através dos cálculos.

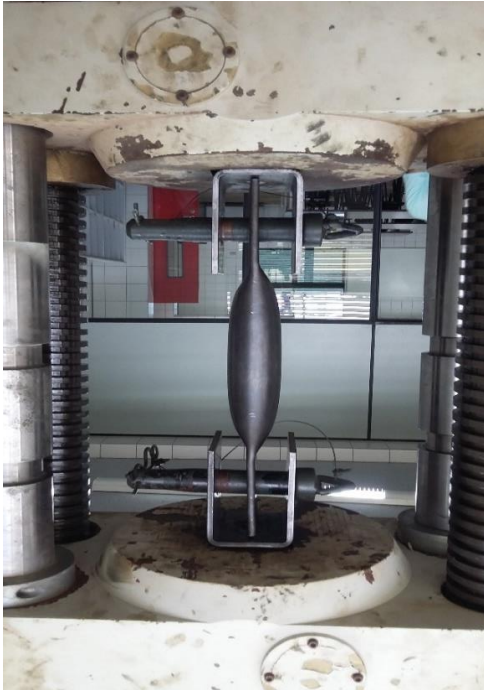
O equipamento utilizado foi a máquina universal de ensaios modelo I -3058, citada no item 3.6.1, submetendo os corpos de provas a situações próximas da realidade através da máquina universal, com a intenção de verificar se os mesmos atenderiam os critérios calculados no item 3 deste trabalho.

4.1.1 Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado no laboratório do centro universitário FAG, utilizando o corpo de prova da Figura 9, onde o mesmo foi conectado ao suporte da Figura 11 que por sua vez foi conectado a máquina universal, utilizando os pinos de fixação da Figura 12 O corpo de prova foi submetido a tração para verificar se o mesmo atenderia ao valor calculado para retirar o veículo da inércia no item 3.2.1.

Na Figura 16, temos o conjunto do corpo de prova, suporte e pino, todos conectados a máquina para a realização do ensaio de tração.

Figura 16 – Conjunto para ensaio de tração



Fonte: Próprio autor (2018).

Como citado o ensaio de tração não tinha como objetivo levar o corpo de prova até sua ruptura, porém foi observado que o mesmo resistiu a carga superior ao valor desejados como podemos observar na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultado do ensaio de tração

Resultado do ensaio			
Carga Máxima:	13.580 (kgf)	Tensão Máxima:	40,88 (MPa)
Carga Esc. Conv.:	(kgf)	Tensão Esc. Conv.:	(MPa)
Carga Esc. Inferior:	230 (kgf)	Tensão Esc. Inferior:	0,69 (MPa)
Carga Esc. Superior:	240 (kgf)	Tensão Esc. Superior:	0,72 (MPa)
Massa Linear:	0,00 (mm ²)		
Seção Média:	0,00 (g/mm)		
Alongamento Calc.:	(%)		

Fonte: Máquina universal de ensaios I -3058 (2018).

A carga máxima ao qual o corpo de prova foi submetido foi de 13.580 Kgf, realizando a conversão obtemos o valor de 133,22 KN, podermos fazer uma comparação com a força que ele deveria resistir de 73,58 KN. Mesmo não chegando a ruptura, o elemento resistiu a uma força superior para qual ele foi dimensionado, sem apresentar nenhum tipo de deformação que poderia ser observada visualmente até a interrupção do funcionamento da máquina.

4.1.2 Ensaio de flambagem

O ensaio de compressão foi realizado utilizando as mesmas instalações e equipamento do ensaio de tração, tendo como diferencial, que o corpo de prova para este ensaio da Figura 10 foi acoplado diretamente à máquina sem a necessidade de utilizar suporte ou pino. O corpo de prova foi submetido a compressão com a finalidade de observar seu comportamento dentro do regime elástico, ou seja, quando ocorresse a flambagem e a carga fosse retirada, o corpo de prova retornaria ao seu estado inicial.

Durante o ensaio o corpo de prova foi monitorado para que pudesse ser obtido o valor mais próximo que causaria a flambagem, como o valor calculado no item 3.2.10 para que ocorresse a flambagem é igual a 164,37 KN, a partir do valor de 15.000 Kgf mostrado pelo equipamento equivalente a 147,15 KN, foram feitas verificações no corpo de prova a cada intervalo de 1500 Kgf, pois o gráfico gerado apresenta esse intervalo de escala. A verificação do corpo de prova foi realizada com um objeto plano que encostava em suas extremidades sendo possível verificar quando a flambagem ocorresse, pois ao encostar o objeto em suas extremidades a parte central do corpo de prova se afastou do objeto, com a verificação em 15.000 Kgf, 16.500 Kgf, 18.000 Kgf, 19.500 Kgf, nesta última medição foi possível verificar a ocorrência da flambagem, como o processo de verificação utilizado foi um processo que não garante precisão, foi adotado o valor médio entre as duas últimas verificações adotando para a carga que causou a flambagem um valor igual a 18.750 Kgf o equivalente a 183,94 KN.

Tabela 16 - Resultado do ensaio de flambagem

Resultado do ensaio			
Carga Máxima:	27.520 (kgf)	Tensão Máxima:	85,22 (MPa)
Carga Esc. Conv.:	(kgf)	Tensão Esc. Conv.:	(MPa)
Carga Esc. Inferior:	0 (kgf)	Tensão Esc. Inferior:	0,00 (MPa)
Carga Esc. Superior:	0 (kgf)	Tensão Esc. Superior:	0,00 (MPa)
Massa Linear:	0,00 (mm ²)		
Seção Média:	0,00 (g/mm)		
Alongamento Calc.:	(%)		

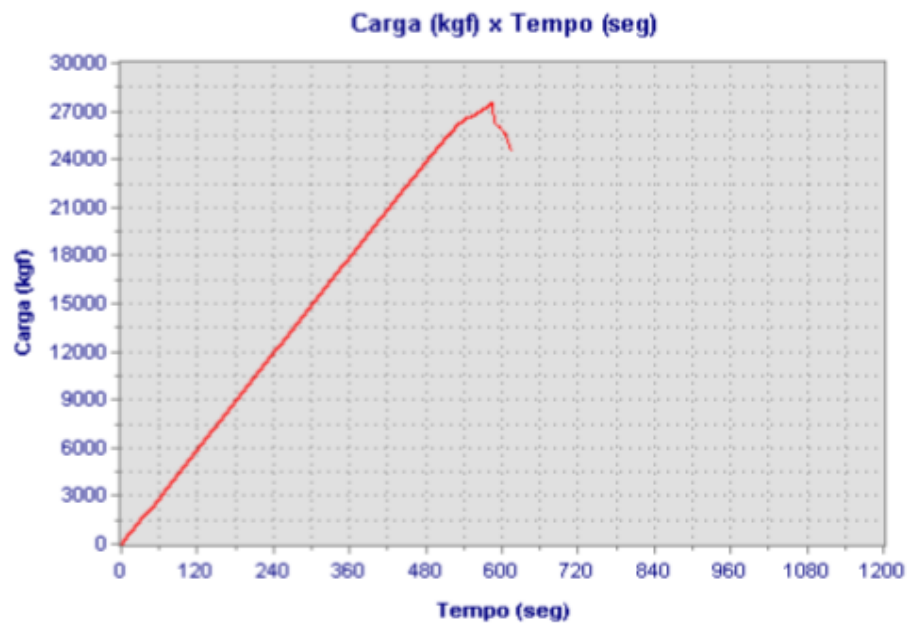
Fonte: Máquina universal de ensaios I -3058 (2018).

A carga máxima ao qual o corpo de prova foi submetido até apresentar um sinal de deformação permanente que pudesse ser observado visualmente foi aproximadamente de 27.000 Kgf, realizando a conversão obtemos o valor de 264,87 KN, este valor não foi

considerado, pois esta deformação já ocorre no regime plástico, sendo assim, se isso ocorresse o cambão não poderia ser utilizado pois comprometeria a segurança na hora de rebocar o veículo.

Figura 17 – Carga verificada para deformação permanente

Gráfico do ensaio realizado



Fonte: Máquina universal de ensaios I -3058 (2018).

Figura 18 – Sinal visual de deformação no ensaio de compressão



Fonte: Próprio autor (2018).

4.1.3 Resultados

Com base nos valores obtidos através dos cálculos e dos ensaios, podemos fazer uma comparação entre eles para a verificação do fator de segurança (FS) obtido através dos cálculos e dos valores dos ensaios, e se o valor obtido satisfaz a condição da Tabela 5.

O fator de segurança para os esforços mostrados na Tabela 17, foram calculados dividindo os valores obtidos nos cálculos e nos ensaios pela força de 73,58KN calculada no item 3.2.2, como mostrado nas 3ª e 6ª coluna respectivamente. No caso da força para a flambagem do cambão, foi utilizada a comparação direta com a carga observada para a flambagem do corpo de prova, no caso o valor teórico obtido foi de 164,37 KN calculado no item 3.2.10, e no ensaio foi observada a carga de 183,94 KN, ou seja, 12% acima do valor teórico. Como o valor teórico obtido para que ocorra a flambagem do cambão foi igual a 115,16 KN, considerando uma carga 12% maior, temos o valor de 128,98 KN que causaria a flambagem do mesmo.

Tabela 17 – Verificação dos resultados

Esforço	Valor calculado (KN)	FS	Valor do ensaio (KN)	FS
Tração no tubo	184,10	2,5	133,22	1,81
Rasgamento do furo a borda	272,92	3,71		
Rasgamento do furo ao canto	214,80	2,92		
Flambagem do corpo de prova	164,37	2,23	183,94	2,54
Flambagem do cambão	115,16	1,57	128,98	1,75

Fonte: Próprio autor (2018).

Conforme a Tabela 17 podemos observar que os valores do fator de segurança (FS), analisando separadamente tração e flambagem obtidos, fazendo a comparação entre os valores teóricos e os observados com os ensaios na prática houve uma pequena variação, porém todos estão entre 1,5 e 2,0, sendo assim são valores considerados para garantir a segurança como citado na tabela 5.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo dimensionar um cambão que pudesse rebocar o veículo VW Worker 15.210 4x4, dentro de uma oficina de forma segura. As conclusões apresentadas na avaliação dos ensaios estão condicionadas à forma de execução do dimensionamento, sendo os resultados um reflexo da metodologia desenvolvida.

Com o experimento foi possível avaliar que o dimensionamento foi suficiente para atender as condições estabelecidas para a aplicação do cambão. Foi calculado uma força de 73,58 KN para movimentar o veículo com plena capacidade de carga, e no teste foi observado que a peça dimensionada resistiu a uma carga de 133,22 KN. O mesmo resultado foi obtido no ensaio de compressão onde a peça dimensionada deveria suportar uma força de 164,37 KN e suportou uma carga de 183,94 KN.

Conclui-se que o dimensionamento atenderia a necessidade para qual foi proposta podendo o mesmo ser aplicado em situações reais, com os resultados obtidos dos ensaios realizados, podemos comprovar que os critérios adotados para garantir segurança durante a operação foram suficientes dando a peça confiabilidade, sem dar a ela dimensões que impossibilitasse o manuseio por uma pessoa ou que trouxesse problemas a saúde do usuário.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho não abrange todas as de aplicações do cambão, ao contrário, abre uma grande possibilidade de aplicação e seus respectivos dimensionamentos.

Um ponto interessante seria testar o elemento dimensionado em escala de aplicação real, e analisar como o mesmo se comportaria.

Realizar um estudo para fins de comparação com o presente, adotando novos coeficientes de segurança com o objetivo de manter a segurança na aplicação do equipamento, reduzindo seu peso e também custos.

REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL (Minas Gerais – MG). **Guia do aço**. 2013. Disponível em: <<http://brasil.arcelormittal.com.br/pdf/quem-somos/guia-aco.pdf>>. Acessado em: 12 abr. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE AÇO EM EDIFÍCIOS**. Rio de Janeiro: Norma técnica, 1986.

BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON JUNIOR, Elwood Russell. **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 1992.

CARVALHO, José Rodrigues de; MORAES, Paulo Luiz Jardim de. **Órgãos de máquinas: dimensionamento**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1982.

CALLISTER, William. **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS: UMA INTRODUÇÃO**. 7. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

CUNHA, Lamartine Bezerra da. **Elementos de máquinas**. Rio de Janeiro: Ltc, 2005.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: mecânica**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 1 v.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO - 11228 - 1: Lifting and carrying**. 1 ed. Switzerland: Iso, 2003. v. 1.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO - 21182: Determination of the coefficient of friction**. 2 ed. Switzerland: Iso, 2013.

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

PROVENZA, Francesco. **Mecânica aplicada**. São Paulo: Pro-tec, 1982.

RAMALHO JÚNIOR, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os fundamentos da física**. 9. ed. São Paulo: Moderna, 2007. 1 v.