

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
LEVI GOMES

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE PESO EM CONJUNTOS TRANSPORTADORES
CARREGADOS COM COMPONENTES EÓLICOS

Varginha
2022

LEVI GOMES

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE PESO EM CONJUNTOS TRANSPORTADORES
CARREGADOS COM COMPONENTES EÓLICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. João Mário Mendes de Freitas.

**Varginha
2022**

LEVI GOMES

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE PESO EM CONJUNTOS TRANSPORTADORES
CARREGADOS COM COMPONENTES EÓLICOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. _____

Prof. _____

Prof. _____

OBS.:

Dedico este trabalho à minha mãe, Célia Maria
Gomes, pois ela me foi uma luz nas trevas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por viabilizarem os meus estudos. Eles araram a terra, plantaram, regaram, fertilizaram e me deram os frutos.

Não é tempo que perdemos, é vida.
Wilhelm Leibniz

RESUMO

O transporte de cargas indivisíveis, principalmente o de componentes eólicos, é um setor que evolui cada vez mais nos cenários mundial e nacional, estando cada vez mais desafiador devido ao crescimento das dimensões e pesos dos elementos eólicos. Dentro desse contexto, este trabalho busca realizar uma análise em dois conjuntos transportadores, compostos por veículos do mercado brasileiro e carregados com cargas eólicas, a fim de avaliar se as distribuições de peso estão enquadradas nas normas regulamentadoras brasileiras. Para isso, foram confeccionados desenhos mecânicos bidimensionais desses conjuntos para servirem de base para modelar estruturas compostas de vigas para calcular a distribuição de peso sobre os seus eixos através de um software CAD. Pôde-se perceber que as distribuições de peso não se enquadravam nas normas devido às configurações geométricas dos veículos presentes ou do posicionamento da carga.

Palavras-chave: Conjunto transportador. Componente eólico. Distribuição de peso.

ABSTRACT

The transport of indivisible loads, mainly wind components, is a sector that is increasingly evolving in the world and national scenarios, becoming increasingly challenging to the growth of dimensions and wind elements. Within this context, this paper seeks to carry out an analysis on two transport sets, composed of vehicles from the Brazilian market and loaded with wind loads, in order to assess whether the weight distributions are framed in Brazilian regulatory standards. For this, two-dimensional mechanical drawings of these sets were made to serve as a basis for modeling composite structures of beams to calculate the weight distribution on their axes through CAD software. It could be seen that the weight distributions do not fit the norms due to the configurations of the vehicles present or the positioning of the load.

Keywords: *Transport set. Wind component. Weight distribution.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Investimento em transporte da União (dados acumulados até fevereiro/2022).	15
Figura 02 – Investimento em transporte da União por modal (Total pago acumulado até fevereiro/2022 – R\$ 939,25 milhões)	16
Figura 03 – Tipo de carga transportada.	17
Figura 04 – Custo econômico dos acidentes rodoviários – 2017 (em bilhões de reais).	18
Figura 05 – Carreta Schnabel	18
Figura 06 – Exemplo de um conjunto transportador.	20
Figura 07 – Exemplos de cavalos mecânicos com diferentes configurações de eixo.	21
Figura 08 – Configurações de eixos.	22
Figura 09 – Croqui de um reboque.	24
Figura 10 – Croqui de um semirreboque.	24
Figura 11 – Carreta Dolly duplo.	26
Figura 12 – Diferença de uma carreta Dolly simples e uma carreta Dolly duplo.	26
Figura 13 – Exemplo de uma carreta prancha	27
Figura 14 – Exemplo de uma carreta extensível longitudinal.	28
Figura 15 – Croquis do sistema de suspensão.	30
Figura 16 – Carreta com equipamento especial para o transporte de torres.	31
Figura 17 – Linha de eixos com uma gôndola.	32
Figura 18 – Pescoço hidráulico da marca Empretec.	33
Figura 19 – Quinta roda.	34
Figura 20 – Infográfico do funcionamento de uma turbina eólica.	43
Figura 21 – Vista lateral do primeiro conjunto transportador.	48
Figura 22 – Vista lateral do segundo conjunto transportador.	48
Figura 23 – Etapas da modelagem estrutural de um conjunto.	49
Figura 24 – Modelagem estrutural do primeiro conjunto.	50
Figura 25 – Detalhe da parte frontal da modelagem do primeiro conjunto.	51
Figura 26 – Detalhe da parte traseira da modelagem do primeiro conjunto.	51
Figura 27 – Modelagem estrutural para o segundo conjunto.	52
Figura 28 – Detalhe da parte frontal da primeira modelagem.	52
Figura 29 – Detalhe da parte traseira da primeira modelagem.	52
Figura 30 – Detalhe da parte frontal da segunda modelagem.	53

Figura 31 – Detalhe da parte traseira da segunda modelagem.

53

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Limite de peso por eixo para vias federais.

Tabela 02 – Limite de peso por eixo para veículos com suspensão e direção hidráulicas.

Tabela 03 – Elementos do primeiro conjunto.

Tabela 04 – Elementos do segundo conjunto.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 CONJUNTOS TRANSPORTADORES	19
2.1 Veículo trator	19
2.1.1 Configuração de eixos	21
2.2 Reboque/semirreboque	22
2.2.1 Carreta Dolly	24
2.2.2 Carreta prancha	26
2.2.3 Carreta prancha extensível	27
2.2.4 Carreta extensível longitudinal	27
2.2.5 Carretas extensíveis para torres eólicas	30
2.2.6 Módulos hidráulicos	31
2.2.7 Pescoço hidráulico	31
2.2.8 Engate	32
3 PARÂMETROS DOS CONJUNTOS TRANSPORTADORES	33
3.1 Tara	33
3.2 Lotação	34
3.3 Peso bruto total	34
3.4 Peso bruto total combinado	34
3.5 Capacidade máxima de tração	35
3.6 Balanço traseiro	35
4 DISTRIBUIÇÃO DE PESO	36
4.1 Tipos de eixo	36
4.2 Rodagem e tipos de suspensão	36
4.3 Eixos e rodagem	37
4.4 Distribuição de peso e centro de gravidade	37
4.5 Consequências da sobrecarga	37
4.6 Posicionamento da carga	38
4.7 Escolha do conjunto transportador para cargas indivisíveis	38
5 TRANSPORTE DE CARGAS INDIVISÍVEIS	40
6 COMPONENTES DE UMA TURBINA EÓLICA	42
6.1 Torre	43
6.2 Pás	43
6.3 Hub (rotor)	43

6.4 Eixo	43
6.5 Multiplicador	43
6.6 Gerador	44
6.7 Nacele	44
6.8 Futuro das turbinas eólicas	44
7 METODOLOGIA	45
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
8.1 Distribuição de peso no primeiro conjunto	49
8.2 Distribuição de peso no segundo conjunto	50
9 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O transporte de cargas indivisíveis é a atividade que consiste no deslocamento de cargas unitárias caracterizadas por peso ou dimensões que excedem os limites regulamentares quando rebocadas ou cargas que exigem veículos especiais para o seu transporte.

A realização do transporte de cargas indivisíveis é, assim, executada por conjuntos transportadores especiais, isto é, um veículo ou uma combinação de veículos especiais utilizados na operação do transporte (BRASIL, 2021).

Em consonância com o exposto, o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (2022) define carga indivisível como a carga constituída de uma unidade, cujo peso e/ou dimensões ultrapassam os limites definidos pelos regulamentos, sendo necessário veículos especiais para o seu transporte, com “lotação (capacidade de carga), dimensões, estrutura, suspensão e direção apropriadas”. A título de exemplo pode-se citar: “máquinas, equipamentos, peças, pás eólicas, vagões, transformadores, reatores, guindastes, máquinas de uso industrial, na construção, máquinas agrícolas, estruturas metálicas e silos”.

Para esse tipo de transporte, a empresa de serviços logísticos DB Schenker (2021), afirma ser necessário a coordenação de atividades como obtenção de licenças especiais, desenvolvimento do plano de carregamento e montagem, seleção do conjunto de transporte apropriado e verificação da rota de transporte no caso de dimensões de carga substancialmente excedida, além de organização de remoção da sinalização rodoviária e os termos e condições de realização do transporte, sem contar o cumprimento de regras burocráticas.

O transporte de cargas indivisíveis, além de ser mais burocrático, também exige mais cuidados, quanto, por exemplo, à distribuição de peso por eixo, uma vez que são mais impactantes. Assim, segundo Toco (2018), a correta distribuição de peso por eixo contribui significativamente para amenizar o impacto provocado no solo, uma vez que 20% a mais de sobrepeso implica em um desgaste entre 25 e 50% maior no solo.

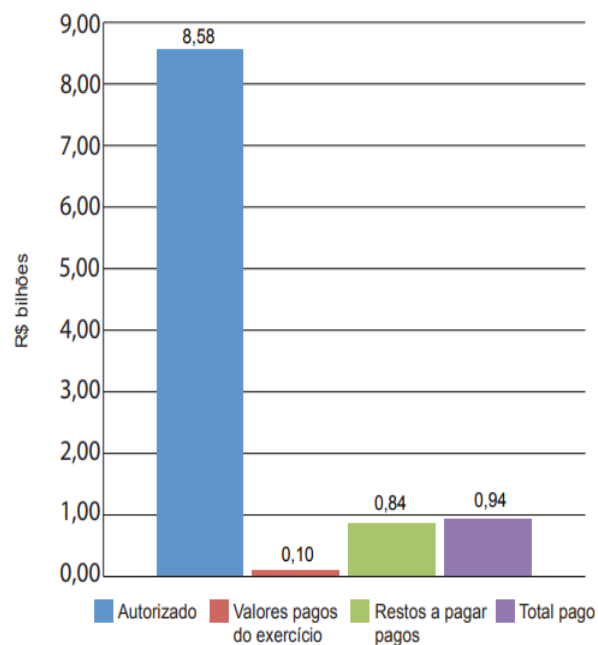
Além disso, a concentração de peso também provoca impactos negativos no eixo sobrecarregado, causando também desgastes nos pneus e rolamentos e, ao mesmo tempo, comprometendo a eficiência da frenagem. Tudo isso, por sua vez, acarreta num maior gasto com manutenção.

Dentro desse contexto, este trabalho apresenta uma análise da distribuição de peso em conjuntos transportadores, formados por veículos utilizados no cenário brasileiro, carregados com componentes eólicos.

No Brasil, o transporte rodoviário de cargas é um setor fundamental para o fluxo da economia nacional, se tratando de uma área que pode chegar a movimentar valores na ordem de bilhões de reais dos cofres da União para o investimento necessário às demandas desse setor.

É o que apresenta a figura 01, a qual exhibe um gráfico apresentado pela Confederação Nacional do Transporte (2022), que expõe a quantia autorizada para o investimento no setor de transporte com recursos do exercício de 2021, a saber 8,58 bilhões de reais.

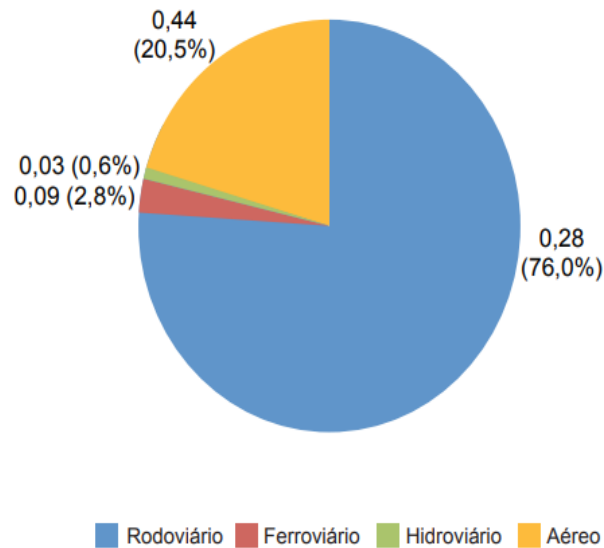
Figura 01 – Investimento em transporte da União (dados acumulados até fevereiro/2022).



Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRÂNSITO, 2022).

Em outro gráfico da Confederação Nacional do Transporte (2022), apresentado na figura 02, pode-se perceber o destaque do modal rodoviário em detrimento dos modais ferroviário, hidroviário e aviário em relação ao investimento realizado pela União.

Figura 02 – Investimento em transporte da União por modal (Total pago acumulado até fevereiro/2022 – R\$ 939,25 milhões)

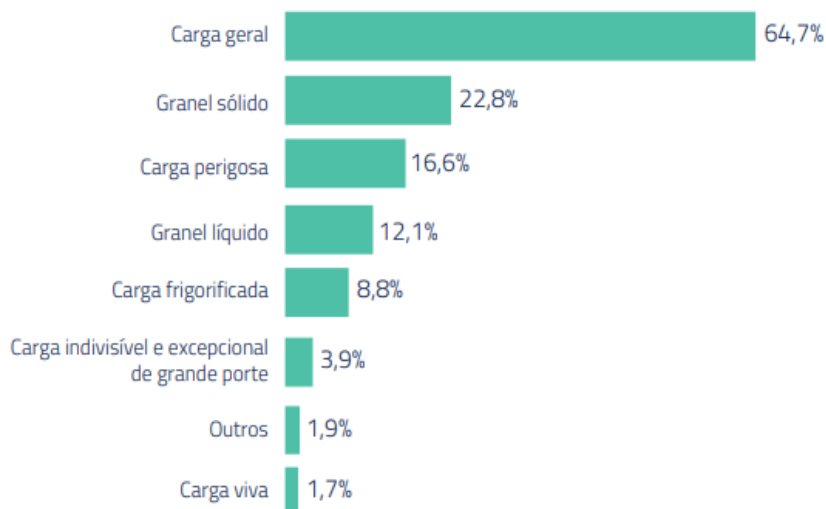


Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2022).

Segundo o anuário da Confederação Nacional do Transporte (2021), no ano de 2020 foram registrados 219.956 empresas, 435 cooperativas e 724.098 autônomos no setor de transporte de cargas. A frota cadastrada nas empresas compreende 1.382.651 veículos, dos quais 859.729 são registrados como autônomos, enquanto 28.481 veículos são de cooperativas. Em suma, tem-se um total de 2.270.861 veículos autorizados para operar no transporte de cargas.

O gráfico da figura 03, apresentado também pela Confederação Nacional do Transporte (2021), resume o percentual de carga transportada pelas empresas brasileiras de acordo com a sua natureza.

Figura 03 – Tipo de carga transportada.



Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2021).

Nota-se um percentual de apenas 3,9% no transporte de carga indivisível e excepcional de grande porte, o que ocorre porque as dimensões e peso desse tipo de carga “excedem os limites regulamentados para a circulação rotineira – demandando, assim, que seja previamente solicitada e emitida uma autorização especial de trânsito”. Além de que esse tipo de transporte requer “cuidados especiais e demandam capacitação específica para os motoristas” (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2021).

Além das periculosidades peculiares inerentes a esse tipo de carga, as rodovias brasileiras, segundo o anuário da Confederação Nacional do Transporte (2021), “61,9% das rodovias avaliadas, em 2020, apresentaram algum tipo de problema no estado geral”, além de que há problemas no pavimento em 52,2% dos trechos avaliados, além de 62,1% apresentarem falhas na geometria.

Dentro dessa conjuntura, nota-se que o aprimoramento da eficiência e da segurança dos conjuntos transportadores é de grande relevância para o cenário econômico nacional, já que o modal rodoviário é praticamente predominante e insuperável, porém ainda apresenta falhas muito impactantes.

Deve-se frisar ainda o fato de que o custo total dos acidentes pode chegar a bilhões de reais, como apresenta a figura 04.

Figura 04 – Custo econômico dos acidentes rodoviários – 2017 (em bilhões de reais).

Custo Econômico dos Acidentes Rodoviários - 2017			
Tipo	Custo Médio (R\$)	Número de Acidentes	Custo Total dos Acidentes (R\$ bilhões)
Com fatalidade	R\$ 783.217,92	5.178	R\$ 4,06
Com vítimas	R\$ 109.209,59	53.538	R\$ 5,85
Sem vítimas	R\$ 27.928,83	30.680	R\$ 0,86
		89.396	R\$ 10,77

Fonte: (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, 2017).

Na área de transporte de componentes eólicos, cerca de uma década atrás, Dvorak (2011) já afirmava que para mover apenas uma turbina era necessário de 9 a 10 caminhões, a maioria dos quais são reboques especializados. Além disso, diferentes reboques são necessários para as naceles, pás e torres – elementos estruturais de uma turbina eólica.

Por exemplo, três veículos são necessários para mover cada conjunto de pás, um reboque especializado move a nacela, e até quatro reboques especializados movem as seções da torre. Em alguns casos, este último grupo requer plataformas ainda mais especializadas, chamadas Schnabel, um exemplo é mostrado na figura 05. Estes reboques são usados à medida que o diâmetro da torre aumenta e para diminuir a altura geral do transporte para obter rotas mais viáveis.

Figura 05 – Carreta Schnabel.



Fonte: (GUY M. TURNER, 2022)

Segundo Crane Brasil (2018), as turbinas eólicas estão ficando cada vez maiores e mais pesadas, o que constitui um grande desafio para o setor. Além disso, “as condições de

solo, a qualidade das estradas de acesso e as especificações técnicas dos componentes eólicos variam bastante de projeto a projeto”.

Com isso, este trabalho busca apresentar uma análise de conjuntos transportadores, com veículos disponíveis nas transportadoras brasileiras, carregados com componentes eólicos, a fim de avaliar a distribuição de peso com o intuito de verificar se estão conforme as normas regulamentadoras brasileiras e quais seriam as medidas necessárias para adequar esses conjuntos às normas.

Cumpra para este propósito, seguir as tarefas expostas abaixo:

- Apresentar um referencial teórico sobre os elementos que compõe um conjunto transportador;
- Apresentar um referencial teórico sobre os parâmetros para avaliar um conjunto transportador;
- Apresentar um referencial teórico sobre as normas regulamentadoras envolvidas no transporte de cargas indivisíveis;
- Apresentar um referencial teórico sobre os elementos de uma turbina eólica;
- Por fim, realizar uma análise da distribuição de peso de conjuntos transportadores carregados com componentes eólicos.

Para a composição dos referenciais teóricos, serão realizadas pesquisas bibliográficas em sites, normas e artigos técnicos, ou mesmo em blogs, em vista da dificuldade de encontrar conteúdo acerca do tema na literatura técnica.

Para a análise da distribuição de peso, serão confeccionados desenhos mecânicos que servirão de base para a modelagem estrutural para ser calculado no software Autodesk Inventor.

Este trabalho começa, então, por abordar a respeito dos elementos que podem compor um conjunto transportador, a saber, o veículo trator, também denominado de cavalo mecânico, o reboque, o semirreboque, dentre outros. Posteriormente, será realizada uma exposição dos parâmetros envolvidos na avaliação de um conjunto transportador. Logo após, serão apresentados os principais requisitos legais definidos nas normas regulamentadoras brasileiras para a execução do transporte de cargas indivisíveis no Brasil. Por fim, será realizada uma breve abordagem a respeito dos componentes de uma turbina eólica e, então, a apresentação da parte prática.

2 CONJUNTOS TRANSPORTADORES

Neste tópico serão apresentados os elementos básicos para a composição de um conjunto transportador.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, um conjunto transportador é um conjunto composto de um ou mais veículos utilizados em uma operação de transporte (BRASIL, 2021). A figura 06 exibe um exemplo de um conjunto transportador.

Figura 06 – Exemplo de um conjunto transportador.



Fonte: (TRANSDATA, 2015).

A seguir serão apresentados quais podem ser esses veículos.

2.1 Veículo trator

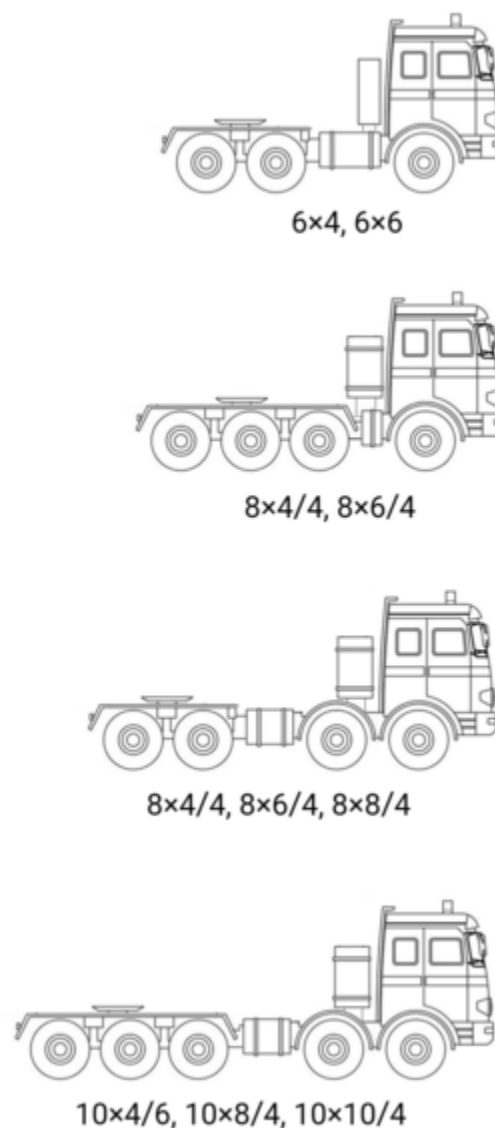
Um veículo trator é um veículo automotor destinado à tração de “veículos, reboques, semirreboques e equipamentos” (BRASIL, 2021).

Em especial, um caminhão é o veículo trator destinado ao transporte de carga com peso bruto total acima de 3,5 toneladas (BRASIL, 1997).

Um tipo especial de caminhão é o cavalo mecânico, um modelo de caminhão destinado ao tracionamento de carretas (CRESTANI, 2021). O cavalo mecânico é composto pelo motor, as rodas de tração e a cabine do motorista (SERRA, 2016).

Os modelos de cavalo mecânico são caracterizados pelo número de eixos da parte traseira e o número de quantos deles recebem tração (CHIPTRONIC, 2021). A figura 07 exhibe alguns modelos.

Figura 07 – Exemplos de cavalos mecânicos com diferentes configurações de eixo.



Fonte: (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2019).

De acordo com o U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (2019), as unidades tratoras – tradução livre para cavalos mecânicos – normalmente possuem

motores diesel, durabilidade e economia, são dotados de vários eixos e possuem uma transmissão multi-razão (10, 13 ou 18 marchas) para máxima flexibilidade na engrenagem.

As variedades de cavalos mecânicos mais comuns são as dos tipos 4×2, 6×2 e 6×4. No entanto, alguns fabricantes oferecem configurações de 6×6, 8×4, 8×6, 8×8, 10×8 e 10×10. Um 6×4, por exemplo, tem três eixos, normalmente um eixo de direção dianteiro não tracionado e os dois eixos traseiros tracionados (U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2019).

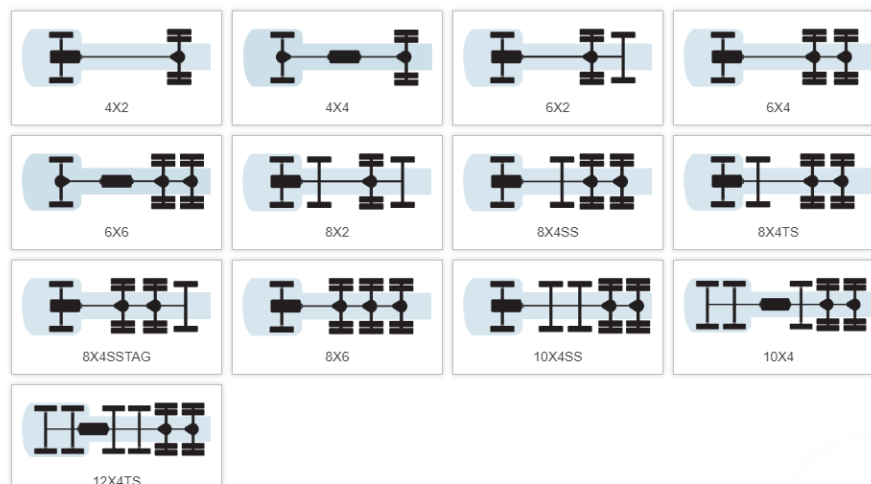
No cenário brasileiro, Ramos (2020) afirma que o modelo FH 540 é o caminhão pesado mais vendido do Brasil, sendo ofertado nas configurações 6×2, 6×4 e 8×4. Seu motor de 13 litros desenvolve potência de 540 cv entre 1.450 e 1.900 rpm e torque de 265 mkgf de 1.050 a 1.450 rpm.

2.1.1 Configuração de eixos

Segundo Cottingham (2022), um eixo de tração em um cavalo mecânico é aquele que fornece potência motriz, isto é, é aquele que está conectado ao motor através do diferencial, eixo de transmissão e caixa de câmbio e impulsiona o veículo para frente ou para trás (COTTINGHAM, 2022).

A configuração de eixos é expressa mais comumente no seguinte formato: número de eixos presentes × número de eixos tracionados. Por exemplo, as configurações mais comuns são: 4×2, 4×4, 6×2, 6×4, 6×6, 8×4, 8×8, 10×4 (COTTINGHAM, 2022). Na figura 08 é possível observar o esquema de várias configurações.

Figura 08 – Configurações de eixos.



Fonte: (TRUCK SCIENCE, 2022).

Segundo Bergstrand (2019), para a escolha da configuração de eixos de um cavalo mecânico, deve-se considerar o seu peso e o quão íngreme serão as rotas, já que esses fatores definem a proporção do torque necessário e a necessidade de uma estrutura mais forte e estável com mais eixos para distribuir o peso adicional.

Para aumentar o torque, é necessário uma alta relação de eixos. A relação de eixos informa quantos ciclos o eixo precisa rotacionar para as rodas realizarem uma rotação de um ciclo. Assim, uma relação de eixos de 2,64, por exemplo, significa que o eixo precisa rotacionar 2,64 vezes para cada rotação da roda. Porém, isso significa que as rotações do motor também precisam ser mais altas, o que se traduz num maior consumo de energia e, logo, um gasto maior com combustível (BERGSTRAND, 2019).

Isso também significa que o cavalo mecânico pode rebocar mais peso e percorrer colinas mais íngremes do que um cavalo mecânico equivalente com uma proporção de 2,47, por exemplo (BERGSTRAND, 2019).

Também é possível aumentar a tração aumentando o número de eixos tracionados – mas isso nem sempre é prático. Em geral, o número de eixos em um cavalo mecânico depende da legislação local de carga e varia entre países e aplicações (BERGSTRAND, 2019).

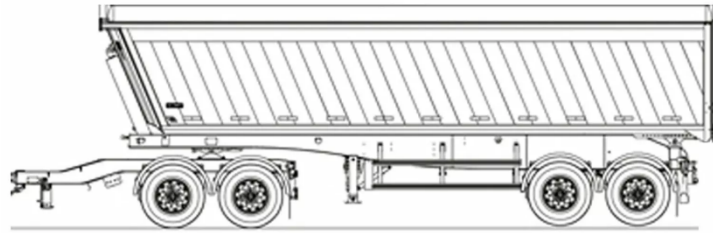
2.2 Reboque/semirreboque

Um reboque é um veículo, com um ou mais eixos, que é engatado na traseira do veículo trator. Semelhantemente, um semirreboque é um veículo, com um ou mais eixos, que é apoiado ou articulado na traseira do veículo trator (BRASIL, 2021).

Além desses veículos, a norma brasileira menciona, em suas definições, os veículos especiais – aqueles destinados ao transporte de cargas indivisíveis excedentes em peso ou dimensões, além de outros fins.

O reboque é um veículo com a função de transportar cargas, sendo constituído de uma superfície de carga, uma estrutura de suporte metálico e rodas, ganhando funcionalidade quando acoplado a outros veículos que executarão seu deslocamento (UVA, 2021). A figura 09 exhibe o croqui de um reboque.

Figura 09 – Croqui de um reboque.



Fonte: (REVIEWAUTO, 2022).

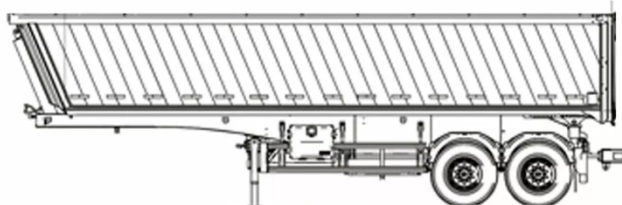
Mesmo ausentes de motorização, os reboques mantêm-se em equilíbrio sem o auxílio de outros veículos por possuírem dois ou mais eixos (UVA, 2021).

Segundo Crestani (2021), os reboques podem ser abertos ou fechados. Os abertos são mais leves e permitem uma visibilidade maior para o motorista. Os fechados garantem uma maior proteção contra intempéries, possuindo maior segurança, porém são mais pesados para o transporte.

Dentre suas vantagens, pode-se citar sua versatilidade, uma vez que podem transportar vários tipos de cargas com diferentes veículos (CRESTANI, 2021).

O semirreboque é um veículo que também possui a função de transportar cargas, necessitando de tração externa para se movimentar e cumprir sua finalidade assim como o reboque, porém, se diferencia deste por poder ser acoplado apenas em um caminhão trator, do tipo cavalo mecânico, sendo muito utilizado em vias rodoviárias no transporte de cargas pesadas (UVA, 2021). A figura 10 exibe o croqui de um semirreboque.

Figura 10 – Croqui de um semirreboque.



Fonte: (REVIEWAUTO, 2022).

Além disso, eles não se mantêm em equilíbrio por conta própria, devendo estar conectados a um veículo trator por meio de um engate que une uma estrutura a outra. O engate responsável por unir os dois veículos é o do tipo B, o qual conecta a quinta roda do cavalo mecânico com o pino-rei do semirreboque (UVA, 2021).

Segundo Crestani (2021), os semirreboques são considerados equipamentos de alta flexibilidade, uma vez que podem ser acoplados com facilidade e rapidez a veículos tratores e inclusive a outros semirreboques.

Além disso, eles permitem o transporte de cargas mais pesadas em deslocamentos mais longos por possuírem eixos maiores e também possuem configurações específicas para acomodar melhor determinadas categorias de cargas (CRESTANI, 2021).

De acordo com Crestani (2021), dentre as diferenças entre reboque e semirreboque, pode-se citar:

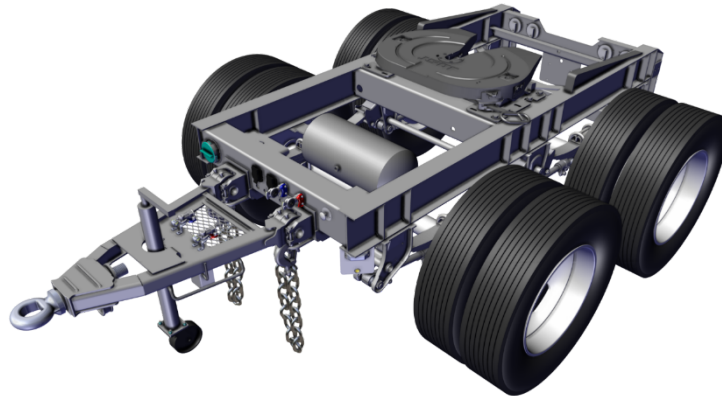
- a) Engate: enquanto o reboque caminha somente engatado em um veículo motor, o semirreboque apoia parte de sua estrutura, necessitando de um suporte mais robusto, veículos adequados e demanda um tempo maior para o processo de desacoplamento;
- b) Equilíbrio: enquanto o reboque pode se equilibrar e permanecer estável mesmo sem estar engatado devido ao fato de possuir eixos nas duas extremidades, o semirreboque necessita de um ponto de apoio para uma de suas extremidades; e
- c) Possibilidade de transporte: o reboque possui maior capacidade de movimento e menor capacidade de peso, já o semirreboque possui maior capacidade de peso e menor capacidade de movimento.

Ao longo do trabalho, será utilizada a denominação carreta no lugar de semirreboque, uma vez que é mais usual.

2.2.1 Carreta Dolly

Segundo Uva (2020), a carreta Dolly é um pequeno veículo usado para conectar um semirreboque e um módulo de caminhão por meio da quinta roda, proporcionando estabilização e equilíbrio de todos os módulos, algo muito significativo para veículos longos, principalmente em curvas. Tem-se uma exibição de uma carreta Dolly na figura 11.

Figura 11 – Carreta Dolly duplo.



Fonte: (STRICK, 2022).

Sua popularidade ocorre por conta de sua funcionalidade em contribuir para a melhor distribuição de peso do conjunto transportador (UVA, 2020).

Figura 12 – Diferença de uma carreta Dolly simples e uma carreta Dolly duplo.



Fonte: (CIMC VANGUARD, 2018).

A carreta Dolly pode ser simples ou trucada. A primeira possui somente um eixo, sendo remotamente usada, uma vez que o número de eixos garante a estabilidade entre os módulos e o peso da carga. A segunda possui dois eixos, o que significa uma maior estabilidade em veículos longos. Além do mais, a carreta Dolly de dois eixos permite que ele seja suspenso quando os módulos de carga estão vazios, permitindo a durabilidade dos pneus (UVA, 2020).

É possível comparar visualmente os dois modelos na figura 12.

2.2.2 Carreta prancha

Segundo o Blog ALP Transportes e Alocação (2021), a carreta prancha é um veículo destinado ao transporte de cargas pesadas, sendo a melhor opção para transportar cargas indivisíveis, uma vez que resiste a cargas que pesam toneladas. A figura 13 exhibe um modelo.

Figura 13 – Exemplo de uma carreta prancha



Fonte: (MF RURAL, 2021).

Ela oferece mais segurança, maior mobilidade de cargas altas pelos centros urbanos, agilidade no serviço, equipamentos adequados e alta resistência (BLOG ALP TRANSPORTES E ALOCAÇÃO, 2021).

As carretas pranchas são oferecidas em diversos modelos, cada um contendo seus diferenciais, recomendações, benefícios e características (BLOG ALP TRANSPORTES E ALOCAÇÃO, 2021).

Elas possuem pistões hidráulicos e remotes específicos para a movimentação de cargas pesadas e indivisíveis (BLOG ALP TRANSPORTES E ALOCAÇÃO, 2021).

Para cargas cuja altura pode impossibilitar a passagem por túneis, passarelas e viadutos, a carreta prancha pode ter uma plataforma rebaixada que permita que a carga seja

transportada de forma geometricamente viável (BLOG ALP TRANSPORTES E ALOCAÇÃO, 2021).

2.2.3 Carreta prancha extensível

Segundo Anster (2016), uma carreta prancha extensível é aquela projetada para se adaptar a diferentes comprimentos para transportar cargas que podem ser de diferentes dimensões.

O mecanismo deste tipo de carreta pode incluir um chassi dianteiro e traseiro dispostos em uma conexão telescópica (ANSTER, 2016).

Seus principais componentes são uma unidade de potência, pescoço hidráulico, rodas, dispositivo de suporte, sistema elétrico de estrutura, suspensão hidráulica, sistema de frenagem, escada e sistema hidráulico, entre outros (ANSTER, 2016).

2.2.4 Carreta extensível longitudinal

De acordo com Anster (2016), as carretas extensíveis longitudinais são aquelas utilizadas para transportar cargas muito longas, como tanques e pás de moinhos de vento e seções de ponte, entre outras cargas semelhantes. A figura 14 exibe uma carreta extensível longitudinal aberta.

Figura 14 – Exemplo de uma carreta extensível longitudinal.



Fonte: (TRADE TRUCKS, 2022).

Para levar essas cargas, a carreta é estendida longitudinalmente. Quando não está carregando nenhuma carga, ela precisa ser ajustada de volta a um comprimento curto. Sua aplicação e uso devem, no entanto, ser baseadas nas leis locais estipuladas e na segurança de condução (ANSTER, 2016).

Uma configuração convencional da carreta prancha extensível é composta por um chassi fixo e um chassi adicional que pode ser conectado ao fixo (ANSTER, 2016).

O segundo chassi executa um contato deslizante com o chassi fixo para fornecer a extensão longitudinal desejada. Isso significa que o chassi móvel pode mover-se de forma relativa ao chassi fixo para fins de alongamento ou encurtamento (ANSTER, 2016).

O chassi móvel está geralmente situado na parte traseira da carreta rebocada pelo veículo trator. Este chassi móvel é composto de um conjunto de rodas e eixo firmemente fixado a ele (ANSTER, 2016).

2.2.4.1 Sistema hidráulico

A carreta extensível possui um sistema hidráulico que compreende circuitos de controle como o levantamento da suspensão, levantamento do pescoço hidráulico, direção síncrona, ajuste lateral e no levantamento da escada (ANSTER, 2016).

Os componentes básicos do sistema hidráulico são blocos de válvulas hidráulicas, juntas e tubos. Todo o sistema vem com uma fonte hidráulica por meio de uma unidade de potência. Há também uma válvula de segurança instalada no circuito (ANSTER, 2016).

2.2.4.2 Sistema de frenagem

Para melhorar ainda mais as operações rápidas com a carreta extensível, é fornecido um sistema de frenagem. Isso inclui um freio de serviço, um sistema de freio de automóvel de linha dupla e um freio de estacionamento (ANSTER, 2016).

As linhas de fornecimento e controle são definidas separadamente. Os componentes mais significativos incluem um conector ligado ao trator, uma válvula de relé de emergência, reservatório de ar, câmara de freio duplo e uma série de especificações para os componentes que se conectam ao gasoduto (ANSTER, 2016).

2.2.4.3 Sistema elétrico

Um sistema de fio único de 24V forma o sistema elétrico da carreta extensível. Na totalidade, o sistema elétrico inclui luzes, conectores e fios, entre outros componentes (ANSTER, 2016).

Os componentes externos de sinalização e iluminação são geralmente fornecidos com luzes de freio, luzes de posição traseira e luzes de posição, entre outros (ANSTER, 2016).

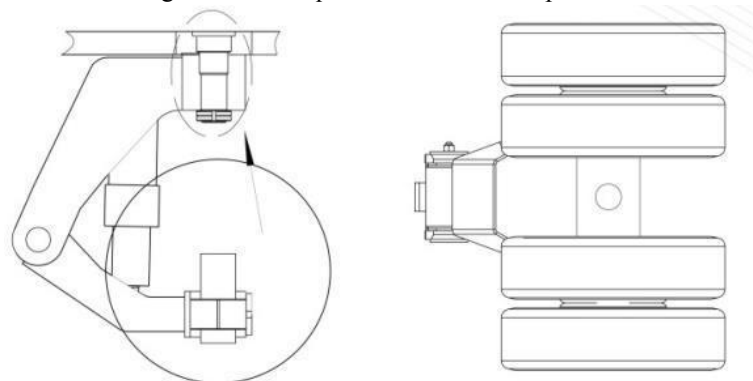
2.2.4.4 Unidade de potência

A unidade de potência é composta por um pequeno motor a diesel, que é o principal motor. Outros componentes incluem um tanque de óleo hidráulico, linhas de controle, dutos e bomba hidráulica. A unidade oferece uma fonte hidráulica para o sistema hidráulico da carreta (ANSTER, 2016).

2.2.4.5 Configuração de eixo e suspensão hidráulica

A carreta tem uma suspensão de elevação hidráulica de eixo vertical que compreende um braço oscilante, um bogie, um eixo de furo único, cilindro de elevação e uma roda (ANSTER, 2016). Tem-se um croqui na figura 15.

Figura 15 – Croquis do sistema de suspensão.



Fonte: (ANSTER, 2016).

As rodas utilizadas são determinadas pela carga do eixo em cada uma das diferentes aplicações (ANSTER, 2016).

2.2.4.6 Sistema de direção

O sistema de direção de uma carreta extensível compreende um mecanismo de direção de roda, mecanismo de direção do pescoço hidráulico e um circuito de controle síncrono hidráulico correspondente (ANSTER, 2016).

O mecanismo de direção do pescoço hidráulico utiliza a rotação do cavalo mecânico em relação à carreta para contrair e expandir o cilindro de direção de forma síncrona em relação ao mecanismo de direção executado. Isso então aciona o eixo através da haste de direção e da plataforma giratória (ANSTER, 2016)

2.2.5 Carretas extensíveis para torres eólicas

Uma carreta específica para torre tem um adaptador de torre em sua estrutura. A torre pode ser fixada nos dois lados dos adaptadores. Os adaptadores podem ser ajustados para se adequarem às diferentes dimensões da torre (ANSTER, 2016). A figura 16 exhibe um cavalo mecânico com uma carreta com adaptador de torre.

Figura 16 – Carreta com equipamento especial para o transporte de torres.



Fonte: (GIRDER TRAILER, 2022).

Uma vantagem notável desta carreta é que ele é um bom correspondente para diferentes tamanhos de torre, além de que ela fornece melhores medidas de segurança (ANSTER, 2016).

2.2.6 Módulos hidráulicos

Segundo Anster (2016), uma carreta modular é uma série de veículos especiais que são usados para transportar grandes cargas que são difíceis de desmontar.

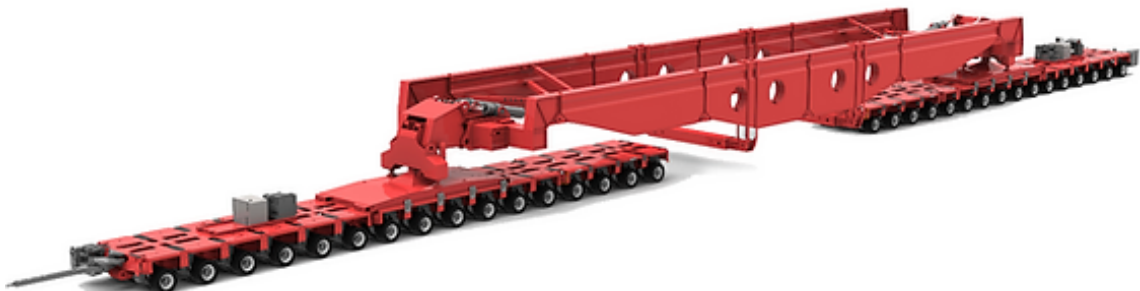
As principais aplicações de carretas modulares incluem centrais elétricas, indústria química, indústria siderúrgica e indústria da construção civil. Carretas modulares são usados para operações de mineração devido à sua excelente estabilidade lateral (ANSTER, 2016).

A carreta modular usa um sistema de direção mecânica e pode ser combinada com pescoço hidráulico ou um cambão (ANSTER, 2016).

As carretas modulares vêm em diferentes unidades modulares que incluem modelos 2, 3, 4, 5, 6 e 8 eixos. A carga máxima por eixo é de até 40 toneladas. Um número maior de linhas de eixo significa que a carreta modular tem uma capacidade de carregamento maior (ANSTER, 2016).

Em consonância, o site Tork Transportes (2022) afirma que os módulos hidráulicos, também conhecidos como linhas de eixos, são veículos modulares destinados à movimentação de transporte de cargas muito pesadas e superdimensionadas. Na figura 17, tem-se uma linha de eixos com uma gôndola.

Figura 17 – Linha de eixos com uma gôndola.



Fonte: (TRANSPI, 2022).

As linhas de eixos são dotadas de eixos independentes, o que possibilita o nivelamento permanente da plataforma de carga em relação ao nível do solo, fornecendo estabilidade ao transporte. Além disso, esses veículos possuem sistema de direção em todos os seus eixos, garantindo melhores condições de manobras (TORK TRANSPORTES, 2022).

Deve-se utilizar o sistema de módulos para montar conjuntos transportadores de acordo com as dimensões da carga a ser transportada (TORK TRANSPORTES, 2022).

2.2.7 Pescoço hidráulico

Um pescoço hidráulico é um equipamento que consiste em um engate direcional para linha de eixos, o qual permite o acréscimo de 16 ou 32 toneladas à capacidade do conjunto, dispensando assim a necessidade de um contrapeso no cavalo mecânico (EMPRETEC, 2022).

A figura 18 exibe um pescoço hidráulico acoplado a um cavalo mecânico.

Figura 18 – Pescoço hidráulico da marca Empretec.



Fonte: (EMPRETEC, 2022).

Conforme Anster (2016), o pescoço hidráulico é um componente que geralmente é ajustado através de uma expansão telescópica do cilindro hidráulico.

Geralmente, o sistema direção da carreta extensível é anexada no pescoço hidráulico por meio da quinta roda e o pino-rei. Assim, à medida que o veículo trator rotaciona, o cilindro de direção é empurrado e transmitido para a ponte de direção da carreta através do circuito hidráulico (ANSTER, 2016).

2.2.8 Engate

Segundo Rizzi (2008), o engate é o elemento destinado a conectar o semirreboque ao cavalo mecânico de forma que o acoplamento entre eles seja firme e ao mesmo tempo possibilita que o semirreboque se movimente nas curvas e manobras.

Atualmente, utilizam-se dois elementos básicos para compor o sistema de engate, a saber a quinta-rodas e o pino-rei (RIZZI, 2008).

O pino-rei possui liberdade para se movimentar somente para rotacionar em torno da cavidade de engate da quinta roda (RIZZI, 2008).

A quinta roda é fabricada com ferro fundido nodular e tem a sua cavidade de acoplamento usinada a fim de reduzir maximamente o atrito com o pino rei, permitindo assim maior liberdade de movimento para o semirreboque (RIZZI, 2008).

O engate é executado com o semirreboque estacionado, o qual é posicionado atrás do cavalo mecânico, “enquanto o motorista movimenta o veículo em marcha ré vagorosamente até que o pino rei se aloje na cavidade da quinta roda”. Após o acoplamento, o pino rei é travado na quinta roda para impedir um desacoplamento acidental (RIZZI, 2008).

Figura 19 – Quinta roda.



Fonte: (BLOG DO CAMINHONEIRO, 2022).

Vê-se na figura 19 uma quinta roda. O seu centro possui um furo para o encaixe do pino-rei.

3 PARÂMETROS DOS CONJUNTOS TRANSPORTADORES

Neste tópico, serão apresentados os principais parâmetros relacionados aos conjuntos transportadores, utilizados principalmente no seu dimensionamento.

3.1 Tara

Tara é a denominação dada ao peso do veículo, incluindo todos os seus elementos que influenciam no seu peso total, tais como a carroceria, o tanque de combustível, as ferramentas

e acessórios, a roda sobressalente, o extintor de incêndio e do fluido de arrefecimento (BRASIL, 2021).

Araujo (2017) afirma que a tara é o parâmetro que indica o peso próprio do veículo, somado aos pesos dos reboques/semirreboques.

E, de acordo com Moura (2021), a tara, também conhecida como peso morto, é o peso do veículo sem a carga, sendo calculada pela soma dos pesos do chassi, do motor, dos componentes mecânicos do veículo etc.

3.2 Lotação

A lotação é a carga útil máxima transportada pelo veículo de carga, incluindo condutor e passageiros (BRASIL, 2021).

Nas palavras de Araujo (2017), a lotação é o parâmetro que indica a carga útil máxima do conjunto transportador.

E, conforme Moura (2021), a lotação é igual à carga útil do conjunto transportador, isto é, o peso que ele pode carregar.

3.3 Peso bruto total

O peso bruto total (PBT) corresponde ao peso máximo que o veículo propaga ao pavimento, resultante da adição da tara mais a lotação (BRASIL, 2021). Em outras palavras, o PBT representa o maior peso suportado pelo veículo transportador.

Nas palavras de Araujo (2017), o Peso Bruto Total é o parâmetro que indica o peso máximo que o conjunto transportador transmite ao pavimento, sendo composto pela soma da tara mais a lotação.

Em consonância, Moura (2021) afirma que o peso bruto total é a soma entre a tara e a lotação. O PBT total é a capacidade que o conjunto transportador possui para controlar o peso que é transferido para as rodovias.

Para calcular o PBT, deve-se somar o peso do veículo com o peso do reboque/semirreboque e o peso da carga. Portanto, é a soma da tara mais a lotação (MOURA, 2021).

3.4 Peso bruto total combinado

O peso bruto total combinado (PBTC) é o peso máximo resultante da combinação do caminhão “caminhão-trator mais seu semirreboque ou do caminhão mais o seu reboque ou reboques” (BRASIL, 2021).

Conforme Araujo (2017), o peso bruto total combinado é parâmetro que indica o peso máximo transmitido ao solo pela “combinação de um caminhão-trator mais seu semirreboque ou do caminhão mais o seu reboque ou reboques”.

O peso bruto total combinado é a soma dos pesos brutos totais do caminhão com os semirreboques e reboques ou trator. Dessa forma, “o PBTC é o PBT quando os cavalos mecânicos são combinados com o reboque” ou a soma do cavalo mecânico com o peso máximo que pode carregar (MOURA, 2021).

3.5 Capacidade máxima de tração

A capacidade máxima de tração (CMT) é o peso máximo que a unidade de tração pode transportar, sendo um fator limitado pela geração e multiplicação de momento de força característicos do veículo, além de seus elementos internos.

De acordo com Araujo (2017), a capacidade máxima de tração é o parâmetro que indica o peso máximo que uma unidade tratora é capaz de tracionar.

Conforme Moura (2021), a capacidade máxima de tração se refere ao peso máximo que a unidade de tração pode tracionar.

3.6 Balanço traseiro

O balanço traseiro é a medida que compreende o ponto pertencente ao plano vertical que contém os centros das rodas traseiras extremas e o ponto mais extremo do veículo, levando em consideração que o veículo seja rígido, isto é, que suas dimensões não sejam variáveis durante a medição (BRASIL, 2021).

Segundo o site especialista na emissão de AETs, Exced Flex (2020), o balanço traseiro se torna um parâmetro notável no transporte de pás eólicas, já que sua medida pode alcançar os 25 metros com facilidade.

Para transportes dessa categoria, pode ser necessária a solicitação de um Estudo de Viabilidade Geométrica (EVG) para avaliar o raio de giro de rotatórias, intersecções e todos os possíveis obstáculos (EXCED FLEX, 2020).

Além disso, o bom posicionamento da carga se torna uma tarefa crucial, devendo-se dimensionar a plataforma de recebimento da carga para evitar ao máximo os possíveis confrontos (EXCED FLEX, 2020).

4 DISTRIBUIÇÃO DE PESO

Segundo explica Uhlmann (2019), o Peso Bruto Total é distribuído pelos eixos do veículo de carga, limitando o peso suportado por ele. Caso o peso limite não seja respeitado, consequências como “desgaste prematuro dos pneus, dos elementos da suspensão, dos freios” podem vir à tona, além de problemas estruturais no chassi e o aumento de riscos de acidentes, uma vez que prejudicaria sua estabilidade e frenagem.

4.1 Tipos de eixo

Segundo a AVEP Brasil (2017), o eixo de um veículo é elemento onde são instalados os pares de rodas. Os eixos podem ser classificados nos seguintes tipos:

- a) Eixo simples: componente de apenas uma conexão entre as rodas, podendo-se encontrar em suas extremidades 2 ou 4 rodas;
- b) Eixo duplo trucado ou tandem: composição de dois eixos consecutivos, cujos centros não são mais distantes do que 1 m e menos do que 2 m, sendo ligados a um dispositivo de suspensão – chamado de balancim – responsável por distribuir a carga entre os eixos;
- c) Eixo duplo não tandem: modelo de eixo duplo, com rodas duplas, sendo espaças por um valor superior a 2 m; e
- d) Eixo duplo especial tribos: modelo formado por 2 eixos: 1 conjunto com 4 rodas e outro com 2, totalizando 6 rodas.

4.2 Rodagem e tipos de suspensão

Rodagem é a quantidade de pneumáticos por eixo. A rodagem de um veículo pode ser simples – o eixo tem apenas um par de rodas – ou dupla – quando há dois pares de rodas em cada eixo (AVEP BRASIL, 2017).

Os tipos de suspensão citados na legislação brasileira são a direcional, tandem, não tandem, especial e pneumática, sendo um parâmetro importante para avaliar a capacidade de peso sobre o eixo (AVEP BRASIL, 2017).

4.3 Eixos e rodagem

A combinação entre eixos e rodagem define a capacidade máxima que um veículo pode carregar, uma vez que tem-se em vista que o centro de gravidade deve estar localizado no ponto adequado para que o peso seja igualmente distribuído.

4.4 Distribuição de peso e centro de gravidade

Segundo o Blog do Caminhoneiro (2019), a distribuição de carga ao longo da plataforma de carga é fundamental para o posicionamento do centro de gravidade em um ponto adequado para não sobrecarregar um ponto em específico.

Daí a importância de consultar o diagrama de carga, que exhibe a área limite na qual a carga pode ser disposta.

4.5 Consequências da sobrecarga

De acordo com BSoft Blog (2021), os perigos provocados pelo desrespeito aos limites legais de peso transportado pelo conjunto transportador podem envolver as seguintes consequências:

- a) Maior consumo de combustível, pois exige maior desempenho do veículo;
- b) Risco de acidentes, devido a possível perda de estabilidade pelo mal posicionamento do centro de gravidade; e
- c) Sobrecarga, o que pode levar a desgaste nos pneus e danos nas suspensões, além de prejudicar a durabilidade do chassi.

Segundo o engenheiro mecânico, Melo (2015), os efeitos de excesso de peso, devido à má distribuição de carga, podem provocar:

- d) Na capacidade de frenagem: distância de parada e superaquecimento do sistema.
- e) Na estabilidade do veículo: indução ao tombamento e comprometimento da dirigibilidade;
- f) Nos danos ao pavimento e pontes: ambiente propício para outros acidentes;

g) Nos danos ao próprio veículo: consumo, desgaste de pneus, suspensão etc.

4.6 Posicionamento da carga

Segundo o engenheiro mecânico Rubem Penteado de Melo, da TRS Engenharia, de Curitiba, a regra básica para o posicionamento da carga na área útil do veículo de carga é que “o centro de gravidade da carga deve coincidir com o centro geométrico (o meio) da carreta” de modo que se a carga não estiver ocupando toda a extensão do conjunto, deve-se manter espaços iguais na frente e na traseira (CARGA PESADA, 2016).

Porém, se a cargas forem de grande densidade, deve-se atentar ao uso de veículos especiais, como prancha ou carrega-tudo, pois a “carga muito concentrada pode deformar, entortar o chassi da carreta ou até causar trincas, especialmente próximo à mesa do pino-rei” (CARGA PESADA, 2016).

Nas carretas convencionais, entretanto, sugere-se que a quinta roda e a suspensão da carreta sejam os pontos de apoio para distribuir a carga, contudo, deve-se verificar se a regra básica ainda está em vigor (CARGA PESADA, 2016).

Segundo Uhlmann (2019), uma vez conhecido o centro de massa da carroceria, pode-se recorrer a duas opções para distribuir o peso corretamente: alterar o comprimento da carroceria e aumentar ou diminuir o entre-eixo.

4.7 Escolha do conjunto transportador para cargas indivisíveis

Para o transporte de cargas indivisíveis, exige-se, em vista de sua natureza mais complexa, a garantia de que o veículo é “realmente o mais adequado para o transporte daquela carga”. Caso seja, deve-se posicionar a carga deitada com o lado mais pesado voltado para baixo e disposto mais ao centro da área útil da carroceria (BSOFT BLOG, 2021).

Concomitantemente, de acordo com Dominici (2018), cargas indivisíveis com peso concentrado devem ser transportadas em veículos especiais para evitar prejuízos a todos os elementos presentes no transporte.

Isso porque os veículos especiais projetados para essas operações podem acomodar com satisfatoriedade o posicionamento correto do centro de gravidade, que deve coincidir com o centro geométrico do conjunto transportador. Além de que, deve-se obedecer a norma que prevê que a carga deve estar distribuída no limite de 3 toneladas por metro linear, medida realizada com base na razão entre o PBT e o PBTC.

Segundo Duarte (2019), para o dimensionamento de um conjunto transportador para cargas superpesadas e superdimensionadas, deve-se considerar diversos fatores para obter um veículo ideal, que se trata daquele que realiza “o transporte com segurança, respeito à legislação e aos prazos e com o menor custo operacional”.

Dentre esses fatores, pode-se constatar os seguintes:

- a) Peso e dimensões da carga;
- b) Centro de gravidade da carga;
- c) Resistência estrutural da carga;
- d) Desenho da carga;
- e) Tipo de veículo;
- f) Dimensões (largura, comprimento e altura) da plataforma de carga;
- g) Tipo de eixo;
- h) Distância entre eixos;
- i) Tipo e dimensões dos pneus
- j) Tipo de suspensão;
- k) Pesos permitidos por eixo;
- l) Tara do(s) veículo(s);
- m) Capacidade técnica do(s) veículo(s);
- n) Motorização dos veículos de tração;
- o) CMT do caminhão trator;
- p) Requisitos para o trânsito do veículo.

Com a finalização do dimensionamento, a definição do percurso e o conhecimento da legislação, pode-se verificar as exigências requeridas para o trânsito do veículo resultante.

5 TRANSPORTE DE CARGAS INDIVISÍVEIS

Segundo o Departamento Nacional da Infraestrutura do Transporte, submetido ao Ministério da Infraestrutura, “a distribuição de peso nos eixos ou linhas de eixos do conjunto transportador ou veículo especial, que será transmitido às superfícies das vias públicas, deverá estar de acordo com as especificações técnicas do fabricante” (BRASIL, 2021).

Além disso, ela deve respeitar os limites impostos na tabela 01 para não impactar o solo das vias federais.

Tabela 01 – Limite de peso por eixo para vias federais.

Limite de peso por eixo com suspensão mecânica ou hidropneumática ou pneumática (t)								
	Grupo de 1 eixo	Grupo de 2 eixos (direcionais e independentes)	Grupo de 2 eixos (em tandem)		Grupo de 3 eixos (em tandem)		Grupo de 4 eixos ou mais (em tandem)	
Intervalo de distância (m)	-	$1,35 \leq d \leq 2,40$	$1,35 \leq d \leq 1,50$	$1,50 \leq d \leq 2,40$	$1,35 \leq d \leq 1,50$	$1,50 \leq d \leq 2,40$	$1,35 \leq d \leq 1,50$	$1,50 \leq d \leq 2,40$
2 pneus por eixo	7,5	15,0	-	-	-	-	-	-
4 pneus por eixo	12,0	-	22,0	24,0	28,5	30,0	9,3	10,0
8 pneus por eixo	16,0	-	24,0	24,0	34,5	36,0	11,3	12,0

Fonte: (O AUTOR, 2022).

A tabela 02, por sua vez, também exhibe o limite de peso por eixo para vias federais, porém para veículos com suspensão e direção hidráulicas.

Tabela 02 – Limite de peso por eixo para veículos com suspensão e direção hidráulicas.

Limite de peso por eixo com suspensão e direção hidráulicas (t)			
	Grupo de 2 ou mais eixos		
Intervalo de distância (m)	$1,35 \leq d \leq 1,50$	$1,50 \leq d \leq 2,40$	$2,40 < d$
8 pneus por eixo	11,3	12,0	16,0

Fonte: (O AUTOR, 2022).

No próximo tópico, será retratado um pouco a respeito dos componentes de uma turbina eólica e o problema relacionado ao seu transporte.

6 COMPONENTES DE UMA TURBINA EÓLICA

Um aerogerador eólico, também chamado de turbina eólica ou gerador eólico, é um dispositivo responsável pela conversão de energia cinética do vento em energia elétrica (MATTEDE, 2022).

Para realizar essa conversão, os aerogeradores utilizam um processo indireto, transformando a energia dos ventos em energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica (MATTEDE, 2022).

Há diferentes tipos de geradores eólicos, “mas todos utilizam a mesma estrutura básica e os mesmos componentes para funcionar” (MATTEDE, 2022).

O aerogerador de rotor de eixo horizontal é um dispositivo que opera movimentando-se por meio de forças de sustentação, que são dirigidas de modo perpendicular ao escoamento, e das forças de arrasto, que se dirigem diretamente contra o escoamento (WINDBOX, 2022).

Figura 20 – Infográfico do funcionamento de uma turbina eólica.



Fonte: (NEOENERGIA, 2022).

A figura 20 exibe infográfico explicando resumidamente o funcionamento de uma turbina eólica. A seguir serão apresentadas as principais componentes de uma turbina eólica.

6.1 Torre

A torre é o elemento estrutural que sustenta as turbinas. Ela é instalada em uma escavação profunda, o qual é coberta com concreto para sua fixação. Trata-se de um elemento cônico, composto de aço ou concreto, possuindo características variáveis de acordo com a fabricante (ENERGÊS, 2020).

6.2 Pás

As pás são estruturas aerodinâmicas desenhadas com o intuito de garantir a melhor obtenção da energia proveniente do vento. Dessa forma, elas são fabricadas com materiais leves e resistentes, como a fibra de vidro ou de carbono (WINDBOX, 2020).

6.3 Hub (rotor)

O hub, ou rotor, é o componente da turbina que possui a função de sustentar as pás, sendo fabricado de aço ou de liga metálica de alta resistência. Entretanto, ele também é responsável por acionar a rotação das pás para que assim captem o vento no chamado ângulo de ataque (ENERGÊS, 2020).

6.4 Eixo

O eixo é o elemento responsável por acionar o gerador por meio da transferência de energia gerada pelas pás através da rotação, realizando o vínculo de vários componentes, “desde as pás, passando pelo multiplicador até chegar ao gerador” (ENERGÊS, 2020).

6.5 Multiplicador

O multiplicador (*gearbox*) é o componente responsável por converter as rotações de baixa velocidade em alta velocidade para a operação do gerador. Trata-se, assim, de um

equipamento composto de um conjunto de engrenagens que, em conjunto, alcançam um fator multiplicador da ordem de 120 vezes (WINDBOX, 2020).

6.6 Gerador

O gerador é o dispositivo destinado à conversão de energia mecânica em energia elétrica através da rotação do eixo. Ele se encontra no interior da nacele (WINDBOX, 2020).

6.7 Nacele

A nacele é o compartimento que envolve os principais componentes da turbina eólica (ENERGÊS, 2020).

A nacele abriga o multiplicador, o gerador, chassis, sistema de yaw, sistema de controle eletrônico e sistema hidráulico. Trata-se do componente mais pesado do sistema eólico (NEOENERGIA, 2022).

6.8 Futuro das turbinas eólicas

As turbinas eólicas de última geração são maiores do que qualquer outra vista anteriormente e as previsões sugerem que essa tendência continuará pelo maior tempo possível. Como resultado, os equipamentos que estão sendo usados para transportá-los estão evoluindo e há uma série de novos produtos no mercado projetados para transportar esses elementos maiores da turbina eólica (SHELTON, 2019).

7 METODOLOGIA

Para a análise da distribuição de peso dos conjuntos transportadores carregados com segmentos de torres eólicas, foram realizadas as seguintes definições.

A carga a ser transportada será um segmento (tramo) de torre eólica que compõe a base da torre, sendo denominada de T1, com as seguintes características:

- Comprimento: 25 200 mm
- Diâmetro da base: 4 560 mm
- Diâmetro do topo: 4 175 mm
- Diâmetro médio: 4 150 mm
- Peso: 80 000 kg
- Posição do centro de gravidade: 10 000 mm a partir da base

Foram propostos os seguintes conjuntos transportadores para o transporte dessa carga:

- a) Um cavalo mecânico 8×4 acoplado a uma carreta Dolly duplo e esta acoplada a uma carreta prancha extensível de 7 eixos carregando o segmento eólico T1 sustentado por 3 suportes de 650 kg (8×4 + DD + PExt.7E + T1);

A tabela 03 informa os pesos dos elementos que compõem o conjunto, bem como suas capacidades máximas de tração. Para o transporte ser viável, o PBTC deve ser menor que o CMT.

Tabela 03 – Elementos do primeiro conjunto.

Elemento	Peso/Tara (t)	CMT (t)
Cavalo mecânico 8×4	10,10	37,00
Dolly duplo	3,50	22,00
Prancha extensível de 7 eixos	28	70,00
Suportes	1,95	-
Segmento de torre	80,00	-
Peso total (com a carga)	123,55	129

Fonte: (O AUTOR, 2022).

Os somatórios da tabela 03 mostram que o CMT é maior que o PBTC, logo esse conjunto é viável para o transporte *a priori*.

- b) Um cavalo mecânico 6×4 acoplado a um pescoço hidráulico e este acoplado a um conjunto com 10 linhas de eixos com adaptadores para o carregamento do segmento eólico T1 (6×4 + PH + 4 LE + 6 LE + T1).

Para este conjunto, também foi confeccionado uma tabela sobre seus elementos.

Tabela 04 – Elementos do segundo conjunto.

Elemento	Peso/Tara (t)	CMT (t)
Cavalo mecânico 6×4	9,35	29,50
Pescoço hidráulico	6,50	-
4 linhas de eixos	14	48
6 linhas de eixos	21	72
Adaptadores	11,50	-
Segmento de torre	80,00	-
Peso total (com a carga)	142,35	149,50

Fonte: (O AUTOR, 2022).

Assim, a tabela 04 mostra que o CMT é maior que o PBTC, logo esse conjunto é viável para o transporte *a priori*.

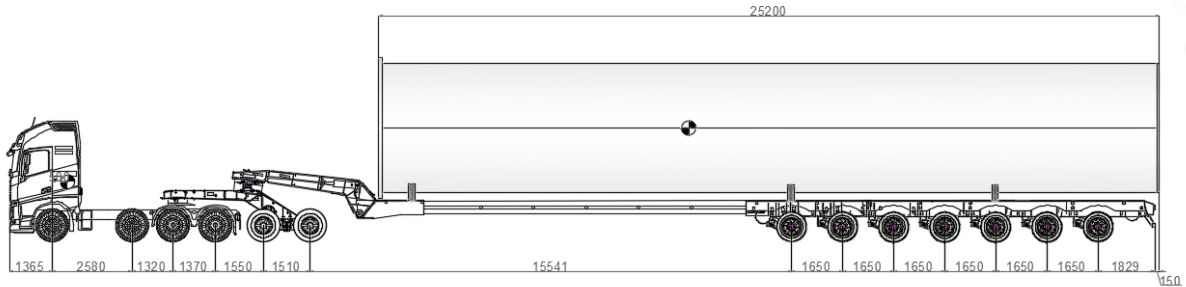
Para a execução do cálculo da distribuição de peso do primeiro conjunto, foram adotadas as seguintes premissas:

- O centro de gravidade da carreta coincide com o centro de gravidade da carga;
- O peso dos suportes foi acrescido ao da carga e da carreta;
- O centro de gravidade da carreta Dolly coincide com o centro da sua quinta roda;
- O centro de gravidade do cavalo mecânico está 500mm para trás do centro do primeiro eixo; e
- A abertura da carreta prancha foi definida de modo a tornar a distribuição de peso dos eixos traseiros dentro das normas regulamentadoras.

Essas premissas foram adotadas de modo a tornar a distribuição de peso o mais viável possível e também para simplificar os cálculos, sem contar a ausência de catálogos técnicos sobre esses veículos.

A vista lateral do primeiro conjunto está apresentada na figura 21. O balanço traseiro é igual a 150 mm.

Figura 21 – Vista lateral do primeiro conjunto transportador.



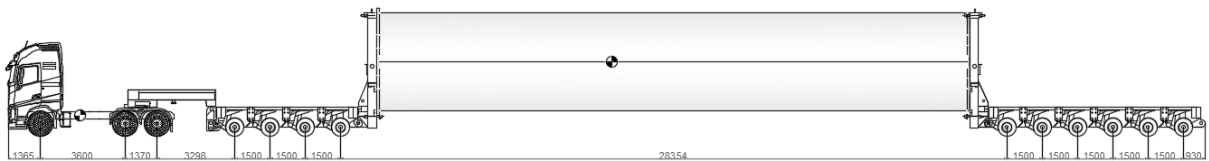
Fonte: (O AUTOR, 2022).

Para o segundo conjunto, foram adotadas as seguintes premissas:

- O centro de gravidade do cavalo mecânico está a 1 700 mm para trás do centro do primeiro eixo; e
- O centro de gravidade do pescoço hidráulico coincide com o centro da quinta roda do cavalo mecânico.

A figura 22 exibe a vista lateral do segundo conjunto com as medidas das distâncias entre os centros dos eixos.

Figura 22 – Vista lateral do segundo conjunto transportador.

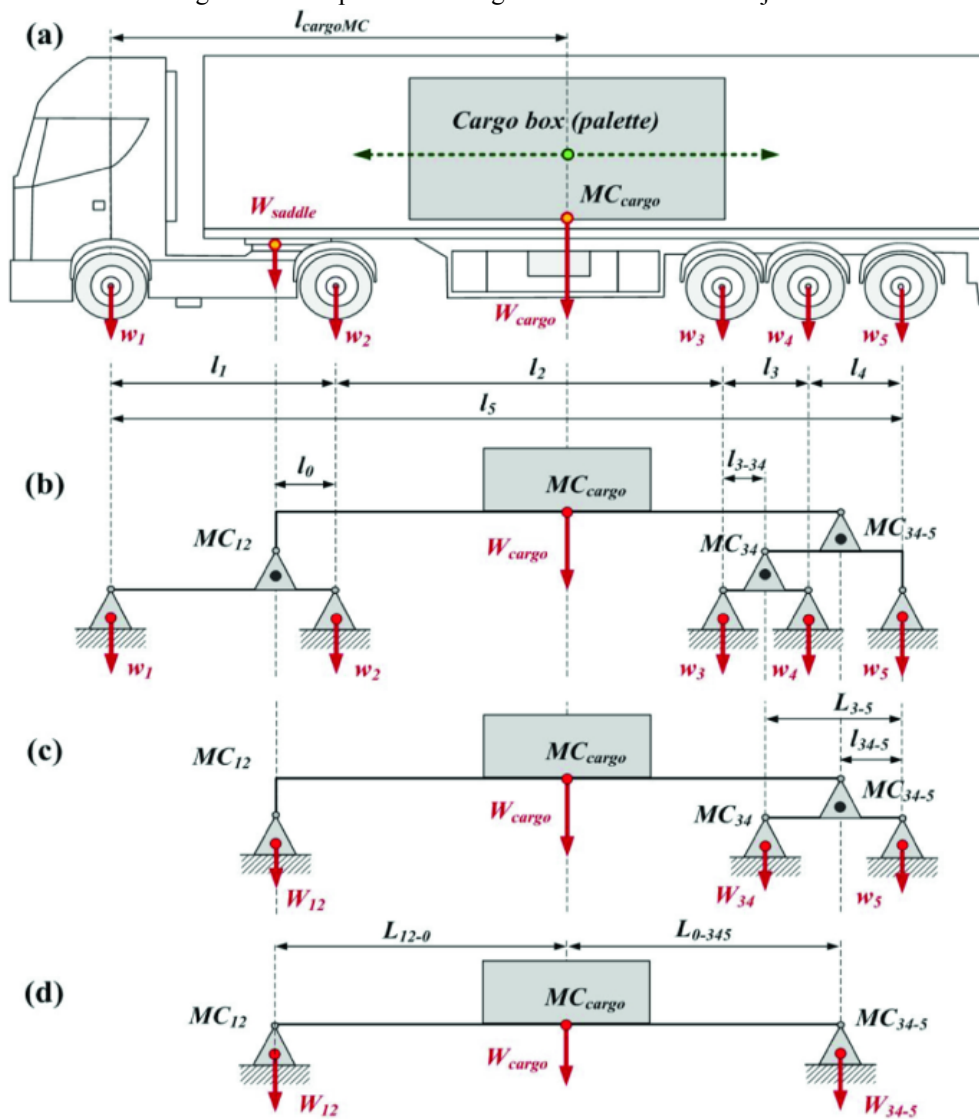


Fonte: (O AUTOR, 2022).

O método utilizado para o cálculo da distribuição de peso baseia-se no trabalho de *Static Approach for Solving the Problem of Cargo Weight Distribution on Vehicle's Axles* de Alexander Grakovski, Sergey Yunusov e Alexander Medvedev, publicado em 2020 (SPRINGER LINK, 2022). Trata-se de modelar o conjunto transportador com a carga em uma estrutura composta por vigas de modo que os pesos sejam aplicados nos pontos de acoplamento e nos centros dos eixos, tratados aqui como pontos de apoio.

A figura 23 apresenta uma modelagem de um caminhão com uma carreta carregando uma carga.

Figura 23 – Etapas da modelagem estrutural de um conjunto.



Fonte: (SPRINGER LINK, 2022).

Pode-se perceber que eixos w_3 e w_4 são eixos em tandem, sendo modelados como um pino de apoio.

Para a resolução das forças reativas na estrutura foi utilizada a ferramenta *Beam* do software Autodesk Inventor.

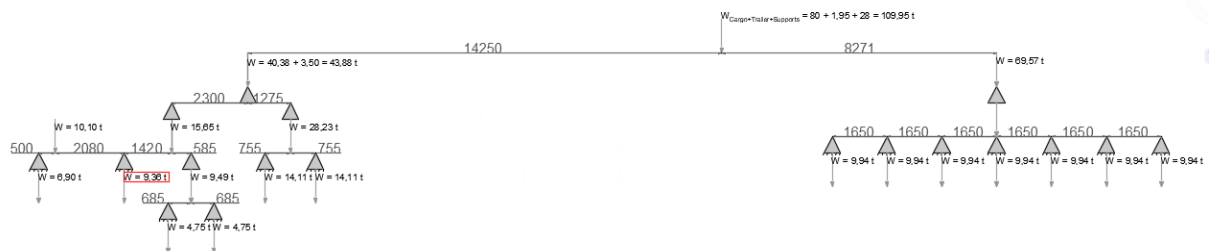
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos na distribuição de peso para o primeiro e o segundo conjunto transportador.

8.1 Distribuição de peso no primeiro conjunto

A figura 24 apresenta a modelagem estrutural com os pesos obtidos para o primeiro conjunto:

Figura 24 – Modelagem estrutural do primeiro conjunto.



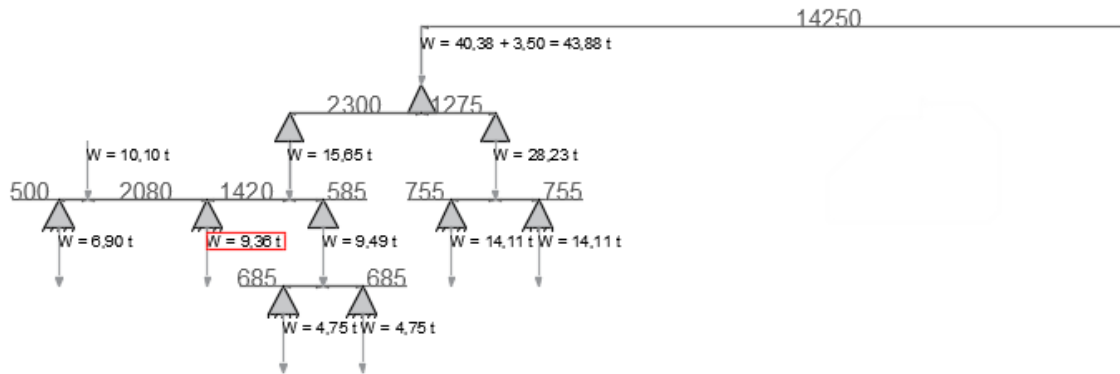
Fonte: (O AUTOR, 2022).

Para o primeiro conjunto, durante o processo foram realizadas alterações no posicionamento da carga e na abertura da carreta para se manter a melhor distribuição de peso possível.

Entretanto, mesmo que todos os eixos estivessem carregando pesos de acordo com os limites impostos pelo DNIT, o segundo eixo simples do cavalo mecânico manteve um peso de 9,36 toneladas, sendo 7,50 o máximo permitido.

A figura 25 exhibe a parte frontal com mais clareza.

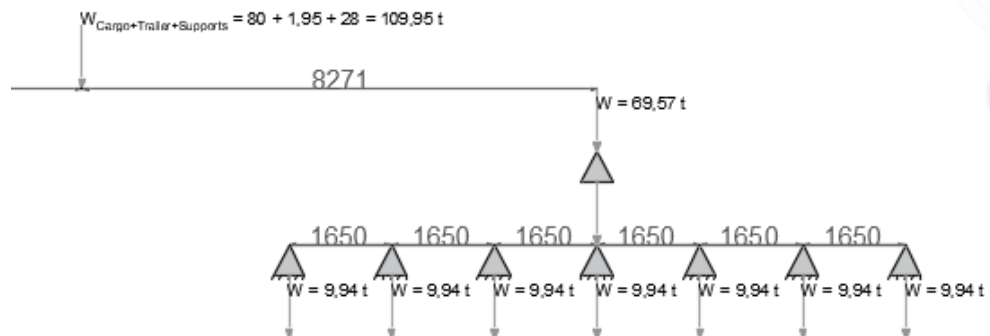
Figura 25 – Detalhe da parte frontal da modelagem do primeiro conjunto.



Fonte: (O AUTOR, 2022).

Na figura 26 pode-se notar que a distribuição de peso na parte traseira obedece aos limites impostos.

Figura 26 – Detalhe da parte traseira da modelagem do primeiro conjunto.



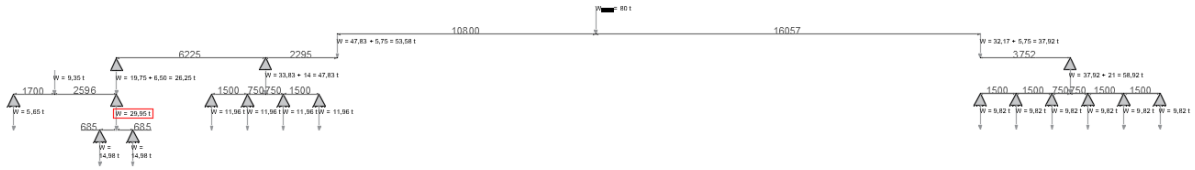
Fonte: (O AUTOR, 2022).

Uma das possíveis soluções para adequar o eixo sobrecarregado ao limite seria diminuir a distância entre ele e o primeiro eixo simples.

8.2 Distribuição de peso no segundo conjunto

Na figura 27, a modelagem estrutural apresenta os resultados obtidos para o segundo conjunto.

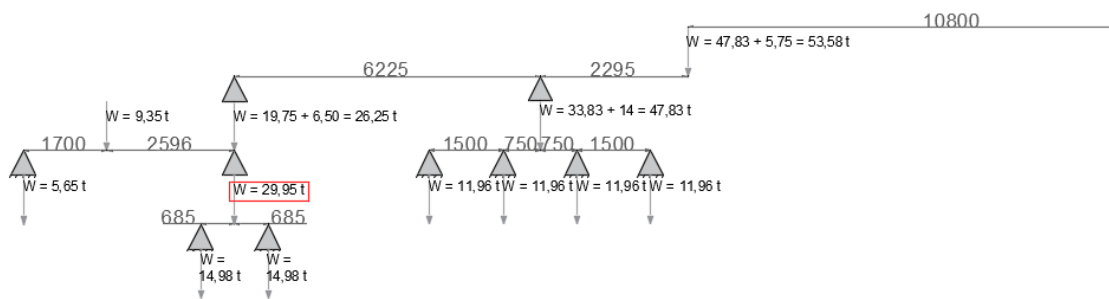
Figura 27 – Modelagem estrutural para o segundo conjunto.



Fonte: (O AUTOR, 2022).

Na figura 28 vê-se com mais clareza o resultado obtido no grupo de eixos em tandem do cavalo mecânico. Nota-se que o valor de 29,95 toneladas, sendo 22 toneladas o máximo permitido.

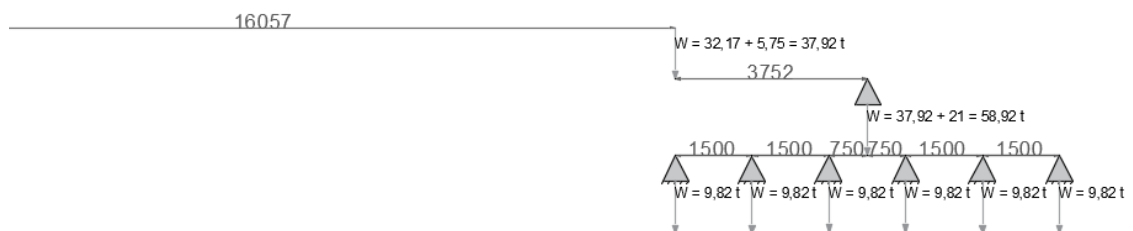
Figura 28 – Detalhe da parte frontal da primeira modelagem.



Fonte: (O AUTOR, 2022).

Para a parte traseira, vê-se na figura 29 que os eixos traseiros adequam-se com folga.

Figura 29 – Detalhe da parte traseira da primeira modelagem.

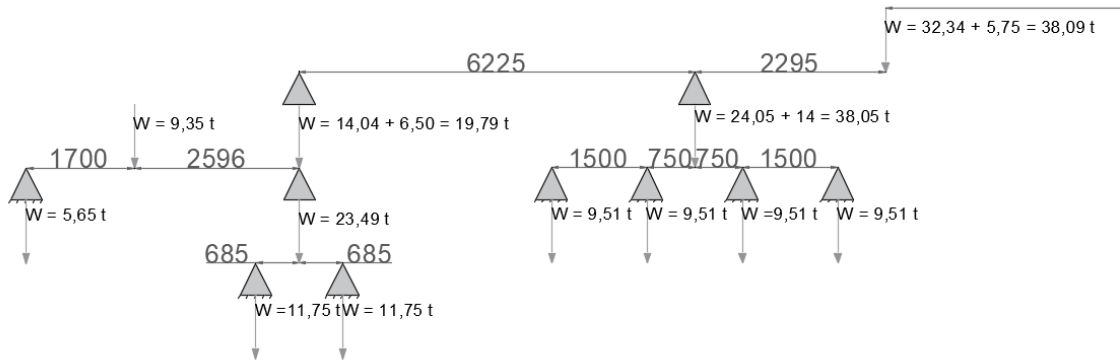


Fonte: (O AUTOR, 2022).

Para a resolução do sobrepeso na parte frontal do segundo conjunto, pode-se inverter o posicionamento da carga, aumentando assim a distância entre o acoplamento e o centro de gravidade da carga. Assim, o peso sobre o grupo de eixos do cavalo mecânico resultaria em

23,49 toneladas, como mostra a figura 30. No entanto, embora esteja mais próximo do valor regulamentado, ainda não atende à norma com rigor.

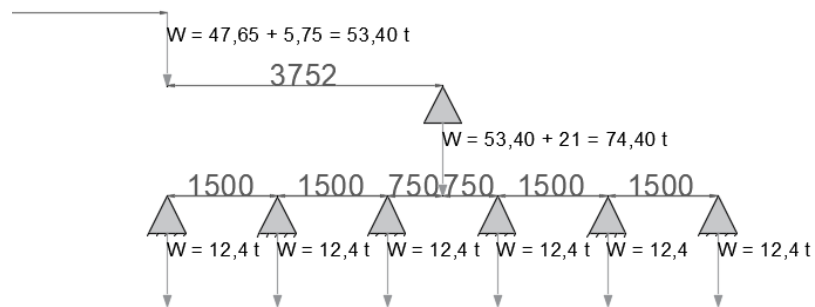
Figura 30 – Detalhe da parte frontal da segunda modelagem.



Fonte: (O AUTOR, 2022).

Além disso, os pesos impostos nos eixos traseiros do conjunto estariam 0,4 tonelada maior que o permitido para as linhas de eixos, como mostra a figura 31.

Figura 31 – Detalhe da parte traseira da segunda modelagem.



Fonte: (O AUTOR, 2022).

Uma outra possível solução seria o acréscimo de mais um módulo hidráulico, o que demandaria uma nova modelagem.

9 CONCLUSÃO

Este trabalho tratou de realizar uma análise da distribuição de peso de conjuntos transportadores carregados com segmentos de torres eólicas. Para isso, a importância do tema foi defendida baseando-se na importância do transporte rodoviário e do transporte de cargas indivisíveis, sendo esta uma área que merece mais atenção por requerer especificações mais rígidas e por ter maior impacto em casos de acidentes.

A área do transporte de componentes eólicos também foi abordada, uma vez que vem enfrentando desafios cada vez maiores.

Logo após, as definições dos veículos que compõem um conjunto transportador foram abordadas, dando-se especial atenção para carreta prancha extensível e para a linha de eixos, os quais foram abordados no estudo prático. Além disso, foram apresentados outros implementos como a carreta Dolly e o pescoço hidráulico.

Posteriormente, foram indicados os principais parâmetros para a definição de um conjunto transportador, sendo eles simples, porém, fundamentais para o dimensionamento de um conjunto transportador.

Para o estudo da distribuição de peso, as referências sobre o assunto são escassas. Assim, fez-se uma exposição breve sobre as recomendações gerais para um transporte de cargas pesadas.

A seguir, foram sintetizadas em tabelas os limites de peso por eixo exigidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte. E, com base nessas tabelas, partiu-se para o estudo prático do trabalho.

Para o estudo prático, foram propostos dois conjuntos transportadores para o transporte de um segmento de torre eólica.

Ambos os conjuntos mostraram-se inadequados ao não distribuir o peso conforme a norma do DNIT. Isso, porém, pôde ter ocorrido devido a equívocos nas premissas.

Contudo, este trabalho não perde seu efeito devido a isso. Uma vez que área de transporte de cargas indivisíveis tende a ser mais desafiadora, deve-se atentar para a resolução de problemas a serem enfrentados, investindo em ferramentas e métodos que sejam capazes de gerar otimização, produtividade e redução de riscos nessa área.

REFERÊNCIAS

ANSTER Wind turbine blade / windmill tower trailer buying guide. **Anster**, 2016. Disponível em: <https://www.anstertrailer.com/buy-wind-turbine-blade-windmill-tower-trailer/>. Acesso em: 15 out. 2022.

ANSTER. What is a Modular Trailer? – Learn Hydraulic Modular Trailers Specs & Designs. **Anster**, 2016. Disponível em: <https://www.anstertrailer.com/hydraulic-modular-trailer-specs-designs/>. Acesso em: 15 out. 2022.

ANSTER. Widening / Extendable Trailers Guide. **Anster**, 2016. Disponível em: <https://www.anstertrailer.com/widening-extendable-trailers-specs-design/>. Acesso em: 15 out. 2022.

ARAUJO, Jolyver. Art. 117 - Comentário. **CTB Digital**, 2017. Disponível em: <https://www.ctbdigital.com.br/comentario/comentario117-256>. Acesso em: 01 out. 2022.

AVEP BRASIL. O que preciso saber sobre eixo do caminhão. **AVEP Brasil**, 2017. Disponível em: <https://www.avepbrasil.com.br/blog/o-que-preciso-saber-sobre-eixo-de-caminhao>. Acesso em: 01 out. 2022.

BERGSTRAND, Pär. How to determine the right axle configuration for your truck. **Volvo Trucks**, 2019. Disponível em: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/insights/articles/2019/nov/how-to-determine-the-right-axle-configuration-for-your-truck.html>. Acesso em: 01 out. 2022.

BLOG ALP TRANSPORTES E ALOCAÇÃO. Veja qual a melhor carreta para o transporte de cargas indivisíveis!. **ALP Transportes e Alocação**, 2021. Disponível em: <https://www.alptransportes.com.br/blog/carreta-prancha-e-a-melhor-opcao-para-transportar-cargas-indivisiveis-entenda-o-motivo/>. Acesso em: 01 out. 2022.

BLOG DO CAMINHONEIRO. Diagrama de Distribuição de Carga. O que é isso?. **Blog do Caminhoneiro**, 2019. Disponível em: <https://blogdocaminhoneiro.com/2019/05/diagrama-de-distribuicao-de-carga-o-que-e-isso/>. Acesso em: 21 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código Brasileiro de Trânsito. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm. Acesso em: 21 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução CONTRAN nº 882, de 13 de dezembro de 2021**. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 24 dez. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/Resolucao8822021.pdf>. Acesso em: 21 mai. 2022.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Resolução CONTRAN nº 1, de 8 de janeiro de 2021**. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 12 jan. 2021. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-1-de-8-de-janeiro-de-2021-298507898>. Acesso em: 21 mai. 2022.

BSOFT BLOG. Capacidade de carga: conheça tipos de caminhão e como escolher. **BSoft Blog**, 2021. Disponível em: <https://blog.bsoft.com.br/capacidade-de-carga>. Acesso em: 01 out. 2022.

CARGA PESADA. Engenheiro explica regra básica para carregamento correto. **Carga Pesada**, 2016. Disponível em: <https://cargapesada.com.br/2016/10/18/engenheiro-explica-regra-basica-para-carregamento-correto/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CIMC VANGUARD. Converter Dollies. **CIMC Vanguard**, 2018. Disponível em: <https://www.vanguardtrailer.com/convertter-dollies.html>. Acesso em: 01 out. 2022.

CHIPTRONIC. Tara (T), Lotação (L) e Peso Bruto Total (PBT), entenda o significado destas inscrições. **Chiptronic**, 2021. Disponível em: <https://chiptronic.com.br/blog/tara-t-lotacao-l-e-peso-bruto-total-pbt-entenda-o-significado-de-stas-inscricoes>. Acesso em: 21 mai. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Anuário CNT do transporte – 2021**. Brasília: 2021. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/Rodoviario/1-1-/Principais-dados>. Acesso em: 21 mai. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletim Informativo – Acidentes Brasil – 2017**. Brasília: 01 jan. 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 21 mai. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Investimentos federais em transporte – 2022**. Brasília: 08 abr. 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 21 mai. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT perfil empresarial 2021: transporte rodoviário de cargas**. Brasília: 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/pesquisas>. Acesso: 21 mai. 2022.

COTTINGHAM, Darren. Which axles are drive axles on a truck?. **Driver Knowledge Tests**, 2022. Disponível em: <https://www.driverknowledgetests.com/resources/which-axles-are-drive-axles-on-a-truck/>. Acesso em: 01 out. 2022.

CRANE BRASIL. Desafios e soluções no segmento eólico. São Paulo: 06 jul. 2018. Disponível em: <https://cranebrasil.com.br/desafios-e-solucoes-no-segmento-eolico/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

CRESTANI, Jaqueline. Como agregar cavalo mecânico: saiba como funciona o agregamento e o que é necessário. **Mutuus**, 2021. Disponível em: <https://www.mutuus.net/blog/agregar-cavalo-mecanico/>. Acesso em: 21 mai. 2022.

DB SCHENKER. Oversized cargo. **DB Schenker**, 2021. Disponível em: <https://www.dbschenker.com/pl-en/products/special-products/overload-transport>. Acesso em: 01 out. 2022.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DAER. AET para transporte de cargas indivisíveis, excedentes em peso e/ou dimensões e para trânsito de veículos especiais. Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://www.daer.rs.gov.br/informacoes-sobre-aet-para-transporte-de-cargas-indivisiveis-e-excedentes-em-peso-e-ou-dimensoes-e-para-o-transito-de-veiculos-e>. Acesso em: 01 out. 2022.

DOMINICI, João Batista. Por que cargas indivisíveis, com peso concentrado, devem ser transportadas em veículos especiais e não em carretas convencionais?. **Central da AET**, 2015?. Disponível em: <https://www.centraldaet.com.br/post/por-que-cargas-indivisiveis-com-peso-concentrado-devem-ser-transportadas-em-veiculos-especiais-e-nao-em-carretas-convencionais/35089>. Acesso em: 21 mai. 2022.

DUARTE, Lucas. Vai transportar cargas indivisíveis, superpesadas e/ou superdimensionadas?. **Caminhões e Carretas**, 2019. Disponível em: <https://www.caminhoes-e-carretas.com/2019/06/vai-transportar-cargas-indivisiveis.html>. Acesso em: 21 mai. 2022.

DVORAK, Paul. Challenges in moving huge and heavy components. **Windpower Engineering**, 2011. Disponível em: <https://www.windpowerengineering.com/challenges-in-moving-huge-and-heavy-components/>. Acesso em: 01 out. 2022.

EMPRETEC. Pescoço para Linhas de Eixos. **Empretec**, 2022. Disponível em: <https://empretec.com.br/produtos/pescoco-para-linhas-de-eixos/>. Acesso em: 01 out. 2022.

ENERGÊS. Conheça 7 Componentes do Aerogerador. **Energês**, 2020. Disponível em: <https://energes.com.br/componentes-aerogerador/>. Acesso em: 01 out. 2022.

EXCED FLEX. O que é Balanço Traseiro?. **Exced Flex**, 2020. Disponível em: <https://www.excedflex.com.br/post/o-que-%C3%A9-balan%C3%A7o-traseiro>. Acesso em: 21 mai. 2022.

GRUPO ARIZONA. Você sabe como é feito o transporte de pás eólicas?. **Grupo Arizona**, 2020. Disponível em: <https://arizonagrupo.com.br/voce-sabe-como-e-feito-o-transporte-de-pas-eolicas/>. Acesso em: 01 out. 2022.

GUY M. TURNER. Schnabel Trailer - Heavy Haul Trailers. **Guy M. Turner**, 2022. Disponível em: <https://guymturner.com/equipment/schnabel-trailer/>. Acesso em: 01 out. 2022.

LAUKKONEN, Jeremy. What Is a Tractor Unit?. **Wikimotors**, 2022. Disponível em: <https://www.wikimotors.org/what-is-a-tractor-unit.htm>. Acesso em: 01 out. 2022.

MARTINS, Fernanda. Afinal, o que é o peso por eixo e como calculá-lo? Saiba!. **Blog WLM Scania**, 2021. Disponível em: <https://blogwlmscania.itaipung.com.br/peso-por-eixo-3/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

MATTEDE, Henrique. Entenda como funciona um aerogerador. **Mundo da Elétrica**, 2022. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/entenda-como-funciona-um-aerogerador/>. Acesso em: 01 out. 2022.

MIHOKOVÁ JAKUBČEKOVÁ, J.; LUSKOVÁ, M.; TOMEK, M. SAFETY OF TRANSPORTATION OF OVERSIZED AND EXCESSIVE LOADS. **Perner's Contacts**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 31–37, 2016. Disponível em: <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/532>. Acesso em: 26/05/2022.

MOURA. PBT: vamos entender sobre caminhões?. **Moura**, 2021. Disponível em: <https://www.moura.com.br/blog/pbt-vamos-entender-sobre-caminhoes/>. Acesso em: 01 out. 2022.

NEONERGIA. Você sabe como funciona um aerogerador?. **Neoenergia**, 2022. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/meio-ambiente/Paginas/como-funciona-um-aerogerador.aspx>. Acesso em: 01 out. 2022.

RAMOS, Andrea. Veja lista dos caminhões mais potentes do Brasil. **Estradão**, 2020. Disponível em: <https://estradao.estadao.com.br/caminhoes/caminhoes-mais-potentes-do-brasil/>. Acesso em: 01 out. 2022.

RIZZI, Rafael Gonçalves. Desenvolvimento de um engate tipo quinta roda – pino rei com amortecimento ativo para o uso em veículos comerciais. Disponível em: http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art_TCC_030_2008.pdf. Acesso em: 01 out. 2022.

SERRA, Vitor. Tipos de carretas para o transporte de cargas. **RodoQuick Transportes**, 2016?. Disponível em: <https://rodoquick.com.br/blog/tipos-de-carretas-para-transporte-de-cargas/>. Acesso em: 21 mai. 2022.

SHELTON, Christian. Wind power transport: Ride like the wind. **International Cranes and Specialized Transport**, 2019. Disponível em: <https://www.internationalcranes.media/news/Wind-power-transport-Ride-like-the-wind/1139526.article>. Acesso em: 01 out. 2022.

SPRINGER LINK. Static Approach for Solving the Problem of Cargo Weight Distribution on Vehicle's Axles. **Springer Link**, 2022. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-44610-9_16. Acesso em: 01 out. 2022.

TOCO, Paula. Lei da Balança – como funciona o peso por eixo? **Associação brasileira de logística pesada - LOGISPESA**, 2018. Disponível em: <https://logispesa.com.br/noticia/34555>. Acesso em: 01 nov. 2022.

TORK TRANSPORTES. Linha de Eixo. **Tork Transportes**, 2022. Disponível em: <https://torktransportes.com.br/linha-de-eixo/>. Acesso em: 01 out. 2022.

TRUCK SCIENCE. TruckScience & Load Xpert compared. **Truck Science**, 2016. Disponível em: <https://truckscience.com/load-xpert/>. Acesso em: 01 out. 2022.

U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Freight Management and Operations: Size Regulations. **U.S. Department of Transportation**, 2019. Disponível em: https://ops.fhwa.dot.gov/freight/publications/size_regs_final_rpt/. Acesso em: 01 out. 2022.

UHLMANN, Vinicius. Entre-eixos e PBT: tudo o que você precisa saber. **Boxer**, 2019. Disponível em: <https://www.bxr.com.br/post/entre-eixos-pbt-tudo-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em: 01 out. 2022.

UHLMANN, Vinicius. Entre-eixos e PBT: tudo o que você precisa saber. **Boxer**, 2019. Disponível em: <https://www.bxr.com.br/post/entre-eixos-pbt-tudo-o-que-voce-precisa-saber>. Acesso em: 01 out. 2022.

UVA, Marcelo. O que é uma carreta Dolly?. **SuperBid**, 2020. Disponível em: <https://blog.superbid.net/o-que-e-uma-carreta-dolly/>. Acesso em: 01 out. 2022.

UVA, Marcelo. Qual a diferença entre reboque e semirreboque?. **RGR Pneumáticos**, 2021. Disponível em: <https://www.rgr.com.br/qual-a-diferenca-entre-reboque-e-semirreboque/>. Acesso em: 01 out. 2022.

WINDBOX. Componentes dos aerogeradores: conheça toda a sua estrutura. **Windbox**, 2020. Disponível em: <http://windbox.com.br/blog/componentes-dos-aerogeradores/>. Acesso em: 01 out. 2022.