

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Romano Martins Coelho de Almeida

Equipamento de Transporte Flexível
de Mercadorias em Veículos Comerciais





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Romano Martins Coelho de Almeida

Equipamento de Transporte Flexível
de Mercadorias em Veículos Comerciais

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor José Carlos Pimenta Claro
Engenheiro António Gil Da Costa Almeida e Sousa

dezembro de 2013

Anexo 3

DECLARAÇÃO

Nome

ROMANO MARTINS COELHO DE ALMEIDA

Endereço eletrónico: a38880@alunos.uminho.pt

Telefone: 964396308

Número do Bilhete de Identidade: 12742704

Título dissertação /tese

EQUIPAMENTO DE TRANSPORTE FLEXÍVEL DE MERCADORIAS EM VEÍCULOS COMERCIAIS

COMMERCIAL VEHICLES CARGO FLEXIBLE CARRYING EQUIPMENT

Orientador(es):

PROFESSOR DOUTOR JOSÉ CARLOS PIMENTA CLARO

ENGENHEIRO ANTÓNIO GIL DA COSTA ALMEIDA E SOUSA

Ano de conclusão: 2013

Designação do Mestrado ou do Ramo de Conhecimento do Doutoramento:

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Nos exemplares das teses de doutoramento ou de mestrado ou de outros trabalhos entregues para prestação de provas públicas nas universidades ou outros estabelecimentos de ensino, e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e, pelo menos outro para a biblioteca da universidade respetiva, deve constar uma das seguintes declarações:

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA TESE/TRABALHO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;
3. DE ACORDO COM A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, NÃO É PERMITIDA A REPRODUÇÃO DE QUALQUER PARTE DESTA TESE/TRABALHO

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos vão para o Doutor José Carlos Pimenta Claro, professor associado do *Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Minho*, por acreditar nas minhas capacidades e me entregar este projeto, e, para os proprietários da empresa *ESI - Engenharia, Soluções e Inovação*, os engenheiros Gil Sousa, Luís Leitão e Reinaldo Ribeiro, por esta oportunidade única proporcionada.

A todos, agradeço também, a orientação, a confiança, a paciência e a liberdade concedidos.

Gostaria também de agradecer imenso a minha Mãe, o meu Pai, e a minha Irmã, pela paciência, confiança, compreensão e apoio incondicional, em todos os aspetos. Nada disto teria sido possível sem a minha família.

RESUMO

O transporte de mercadorias, utilizando veículos comerciais ligeiros de caixa fechada, é uma parte substancial do mundo do transporte rodoviário de carga. As operações de carregamento e descarregamento representam uma fraqueza deste meio de transporte; muito dinheiro é gasto em equipamentos, operadores, e, desperdiçado devido às perdas de tempo provocadas pelo planeamento e as dificuldades de realização do trabalho.

De modo a minimizar esses custos, projetou-se um equipamento de transporte de mercadorias, transportável na caixa de carga do furgão, que flexibilize os processos de carregamento e descarregamento.

Para alcançar esse objetivo, enquadrou-se o equipamento com o ambiente em que deverá ser utilizado, ao mesmo tempo em que se identificaram, mais precisamente, as atividades em que trará mais vantagens a sua utilização.

No seguimento, pesquisaram-se os sistemas semelhantes já existentes, fez-se um levantamento dos potenciais veículos com que este equipamento poderia ser operado e escolheram-se os requisitos que deverá seguir.

Seguindo um princípio de funcionamento, modelou-se em CAD, e foi-se afinando a conceção através da integração e experimentação de diferentes opções construtivas.

Uma vez obtida a configuração mais otimizada, realizaram-se, num programa específico, simulações dinâmicas e recolheram-se as informações necessárias para poder dimensionar o equipamento.

ABSTRACT

Cargo transportation, using light commercial vehicles with closed-top loading compartments, represents a substantial part of the world of cargo transportation by road. The cargo loading and unloading operations are the weaknesses of this kind of transportation method; a lot of money is spent in equipments, operators, and thrown away because of the time wasted on planning, and on the inherent difficulties of the process itself.

In order to minimize those costs, a cargo transportation equipment, which can be carried in the loading area of vans, was designed. It adds flexibility to the loading and unloading operations.

To achieve this goal, the equipment was inserted in the desired context and the activities where it will be an advantage were highlighted.

The actual offer of systems that achieve similar goals was investigated, the potential vehicles characteristics, it will be used with, were gathered and the requirements, it will need to follow, were defined.

After choosing the basic principles it will rely upon, a CAD model was built and successively perfected with the integration of several concepts.

The optimum configuration was transferred to a rigid body dynamics, and motion based stress analysis computer software, to check if the concept was working, and run dynamic simulations in order to obtain the data necessary to mechanically design the equipment.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. EMPRESA ESI.....	15
1.2. TEMA.....	16
1.3. OBJETIVOS	17
2. ENQUADRAMENTO.....	19
2.1. DESCRIÇÃO GERAL	19
2.2. PARÂMETROS.....	20
2.2.1. Tipo de Veículos.....	20
2.2.2. Características da Carga.....	21
2.3. DESTINATÁRIOS	22
3. ANÁLISE CONCETUAL GENÉRICA	25
3.1. ESTADO DA ARTE	25
3.2. DIMENSÕES DE ACONDICIONAMENTO.....	25
3.3. REQUISITOS	27
4. MODELAÇÃO VIRTUAL.....	29
4.1. PRINCÍPIO BÁSICO.....	29
4.2. CONFIGURAÇÃO INICIAL	30
4.3. SEGUNDA CONFIGURAÇÃO	35
4.4. TERCEIRA CONFIGURAÇÃO	38
4.5. CONFIGURAÇÃO OTIMIZADA	40
5. OPÇÕES CONSTRUTIVAS E DE FUNCIONAMENTO	45
6. PROJETO MECÂNICO GLOBAL	49
6.1. SIMULAÇÕES DINÂMICAS	49
6.1.1. Inserção	50
6.1.2. Extração	53
6.2. ESFORÇOS	57
6.3. ANÁLISE DE TENSÕES	57
7. CONCLUSÕES	59
7.1. VALIDAÇÃO DOS REQUISITOS	59
7.2. TRABALHOS FUTUROS	60

BIBLIOGRAFIA	61
ANEXO A - EQUIPAMENTOS ATUAIS DE TRANSPORTE.....	63
ANEXO B - LISTAGEM DE VEÍCULOS COMERCIAIS.....	65
ANEXO C - CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO.....	69
ANEXO D - ESFORÇOS SOBRE OS COMPONENTES.....	75
ANEXO E - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TENSÕES.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 - Sede da ESI	15
Fig.1.2 - Plataforma elevatória de uma sala de conferências.....	15
Fig.2.1 - Configuração básica do equipamento	19
Fig.2.2 - Esquema de carregamento.....	19
Fig.2.3 - Acesso a pacotes “tapados”.....	20
Fig.2.4 - Caís de carga para camiões	20
Fig.2.5 - Caís de carga para furgões	20
Fig.2.6 - Veículo comercial ligeiro de caixa fechada	21
Fig.2.7 - Furgão com sistema de estantes para transporte de pacotes	21
Fig.2.8 - Utilização estratégica do equipamento.....	22
Fig.3.1 - Peugeot Bipper	26
Fig.3.2 - Europaleta	27
Fig.4.1 - Sistema de carregamento de um paciente bariátrico	29
Fig.4.2 - Maca Stryker M1 com sistema alternativo de rebatimento das pernas.....	29
Fig.4.3 - Princípio de funcionamento da maca Stryker M1	30
Fig.4.4 - Esboço do equipamento	31
Fig.4.5 - Modelação virtual introdutória do equipamento	31
Fig.4.6 - Rebatimento das pernas dianteiras	32
Fig.4.7 - Colisão entre as barras pivotantes e o furgão.....	33
Fig.4.8 - Colisão entre as barras pivotantes e o ponto de rotação das pernas dianteiras ..	33
Fig.4.9 - Colisão entre as pernas traseiras e as suas barras pivotantes	34
Fig.4.10 - Altura do equipamento relativamente ao piso de carga e um operador	34
Fig.4.11 - Segunda configuração modelizada do equipamento	35
Fig.4.12 - Impedimento de inserção devido aos suportes das rodas.....	36
Fig.4.13 - Sistema de rebatimento composto de rotação e translação	37
Fig.4.14 - Altura revista do equipamento e do timão	37
Fig.4.15 - Terceira versão modelizada do equipamento.....	38
Fig.4.16 - Equipamento com timão ergonomicamente otimizado.....	39
Fig.4.17 - Possível encravamento das pernas traseiras	40
Fig.4.18 - Iteração virtual otimizada do equipamento	40
Fig.4.19 - Alteração da geometria do mecanismo de rebatimento	41

Fig.4.20 - Esquema do equipamento	42
Fig.4.21 - Diferença de altura entre as rodas da estrutura e o piso de carga	42
Fig.4.22 - Vista de baixo do equipamento com as pernas rebatidas	43
Fig.4.23 - Proporções relativamente ao veículo e ao operador.....	43
Fig.4.24 - Altura do equipamento relativamente ao piso de carga	44
Fig.4.25 - Equipamento inserido no furgão	44
Fig.5.1 - Imobilizador	46
Fig.5.2 - Alavanca de travagem hidráulica	46
Fig.5.3 - Mola de torção.....	47
Fig.5.4 - Local de colocação das molas de torção	47
Fig.5.5 - Êmbolo de bagageira de automóvel	47
Fig.6.1 - Simulação de introdução do equipamento	49
Fig.6.2 - Simulação de extração do equipamento	50
Fig.6.3 - Posição inicial da simulação de introdução	50
Fig.6.4 - Subida inicial do equipamento para o interior do veículo.....	51
Fig.6.5 - Fase inicial de rebatimento das pernas dianteiras	51
Fig.6.6 - Subida de todo o equipamento para dentro do furgão.....	52
Fig.6.7 - Fase inicial de rebatimento das pernas traseiras	52
Fig.6.8 - Posição final da simulação de introdução	53
Fig.6.9 - Posição inicial da simulação de extração	53
Fig.6.10 - Fase inicial de abertura das pernas dianteiras	54
Fig.6.11 - Abertura completa das pernas traseiras na extração	54
Fig.6.12 - Transferência parcial de carga para as pernas traseiras	55
Fig.6.13 - Fase inicial de abertura das pernas dianteiras	55
Fig.6.14 - Abertura completa das pernas dianteiras na extração	56
Fig.6.15 - Posição final da simulação de extração.....	56
Fig.A.1 - Porta-paletes	64
Fig.A.2 - Empilhador	64
Fig.A.3 - Carrinho de mão	64
Fig.A.4 - Sistema para carregar aviões	64
Fig.A.5 - Maca para transporte de pacientes em ambulâncias.....	64
Fig.E.1 - Análise inicial de tensões da estrutura.....	82

Fig.E.2 - Realce das zonas de maior tensão na estrutura.....	82
Fig.E.3 - Análise de tensões da estrutura com malha afinada	83
Fig.E.4 - Análise de tensões inicial das barras pivot	83
Fig.E.5 - Realce das zonas de maior tensão nas barras pivot	84
Fig.E.6 - Análise de tensões das barras pivot com malha afinada.....	84
Fig.E.7 - Realce das zonas de maior tensão nas barras pivot com malha afinada	85
Fig.E.8 - Análise de tensões inicial nas pernas.....	85
Fig.E.9 - Realce das zonas de maior tensão nas pernas	86
Fig.E.10 - Análise de tensões nas pernas com malha afinada	86
Fig.E.11 - Realce das zonas de maior tensão nas pernas com malha afinada	87

1. INTRODUÇÃO

1.1. EMPRESA ESI

A ESI - Engenharia, Soluções e Inovação (Fig.1.1), fundada em Vila Nova de Famalicão pelos engenheiros mecânicos Gil Sousa, Luís Leitão e Reinaldo Ribeiro, é uma empresa portuguesa que presta serviços personalizados de engenharia, focados na inovação. As suas principais atividades consistem em:

- Otimização e realização de cadeias de produção através da implementação e configuração de equipamentos, especificamente projetados se necessário, para a indústria alimentar, automóvel, metalomecânica, médica, polimérica, da construção...
- Conceções especiais à medida de clientes empresariais, ou particulares, tais que plataformas elevatórias para salas de conferências (Fig.1.2), ou, para estacionamento de veículos no subsolo de casas;
- Estudo e projeto de aproveitamento de energias renováveis;
- Realização de projetos de AVAC;
- Análise mecânica de componentes, estruturas e mecanismos, e desenvolvimento de todo o tipo de produtos, para terceiros.



Fig.1.1 - Sede da ESI

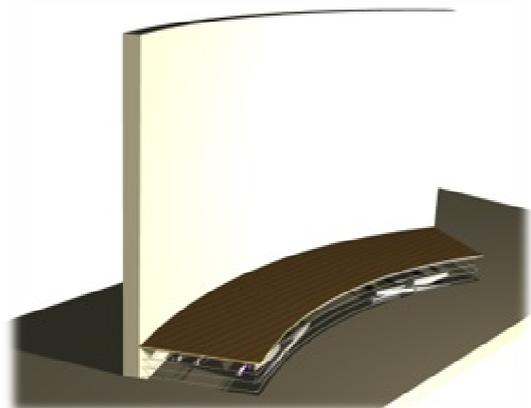


Fig.1.2 - Plataforma elevatória de uma sala de conferências

Paralelamente à atividade de fornecimento de soluções mecânicas nas mais diversas áreas, a ESI efetua I&D de produtos vanguardistas, e, os fundadores tendo sido formados na Universidade do Minho, mantém um protocolo de colaboração com a TecMinho¹ relativamente à conceção e ao patenteamento. Nesse âmbito, foi oferecida à Universidade do

¹ Spin-off da Universidade do Minho.

Minho, esta proposta de dissertação em colaboração com a ESI, sob a orientação universitária do Doutor José Carlos Pimenta Claro, professor associado do Departamento de Engenharia Mecânica. A oportunidade de realizar um projeto inovador e original com uma empresa de valor estabelecido constituiu um desafio aliciante.

1.2. TEMA

O tema em questão é o estudo de um equipamento que flexibilize as operações de carregamento e descarregamento de mercadorias em veículos comerciais ligeiros de caixa de carga fechada.

Os processos de carga e descarga da mercadoria são o calcanhar de Aquiles do transporte de bens em furgonetas. Quando o veículo não está presente, só é possível preparar a carga usando uma palete, que necessitará a presença posterior de um máquina (*e.g.* porta-paletes, empilhador) para introduzir a mercadoria acondicionada na caixa de carga do furgão, e, novamente no local de descarga. Se o conteúdo da caixa de carga for progressivamente distribuído segundo um percurso, a ordem de introdução, e conseqüentemente, remoção, da mercadoria na carrinha deverá ser antecipadamente planeada para evitar que o operador se atrase removendo pacotes só para conseguir aceder à mercadoria que está localizada num ponto de difícil acesso. Bastará ocorrer um atraso ou imprevisto ao longo do circuito de distribuição, por parte do distribuidor ou do recetor, e uma encomenda não ser entregue, para baralhar a ordem de entrega e tornar obsoleto, todo o planeamento logístico previamente efetuado. Todas estas operações requerem trabalho adicional, máquinas, operários e tempo o que torna esta vertente do transporte mais cara e demorada. Não existe, de momento, solução no mercado para estes problemas, pelo que se deseja arranjar uma alternativa viável.

Assumiu-se então o compromisso de desenvolver uma espécie de plataforma móvel, transportável na caixa de carga do furgão, que solucione as desvantagens, agilizando as cargas e descargas. Daí decorreriam operações facilitadas de introdução e extração de carga no veículo, reduzindo a morosidade do processo, e diminuir-se-ia o número de máquinas e trabalhadores requeridos. Os ganhos óbvios seriam o aumento da eficiência do transporte de mercadorias em veículos ligeiros, a diminuição dos custos para as empresas e os clientes, e a maior satisfação destes últimos, consequência da redução dos tempos de entrega. Não é necessário referir a primordial importância que o tempo tem na dinâmica industrial dos dias que correm.

1.3. OBJETIVOS

Os objetivos são simples: quer-se conceber o equipamento, e, os dados mecânicos suficientes para materializar a ideia numa máquina concreta, deverão ser obtidos a partir de análises dinâmicas.

Para tal, começou-se por enquadrar, com precisão, as características do equipamento com a realidade atual do seu contexto laboral, associou-se este aos veículos com os quais poderá ser utilizado, e identificaram-se os potenciais setores de atividades que beneficiariam da sua utilização.

Investigaram-se de seguida, as soluções semelhantes existentes no mercado, as características do ambiente em que se deverá inserir, e definiram-se as diretivas que o equipamento deverá cumprir.

Escolheu-se a configuração básica e modelou-se então, uma abordagem inicial do equipamento, no programa CAD *Autodesk Inventor*, que se foi afinando à medida que se adicionavam funções para cumprir os requisitos estabelecidos.

Aos conceitos virtuais, integraram-se soluções reais, de modo a aproximar a teoria da prática.

Configuraram-se os parâmetros das simulações de movimento no *software MSC.visualNastran 4D* e testou-se o funcionamento dos mecanismos. Recolheram-se os dados correspondentes à análise dinâmica.

2. ENQUADRAMENTO

2.1. DESCRIÇÃO GERAL

O equipamento materializar-se-á como uma plataforma transportadora, tipo maca, adaptável ao compartimento de carga dos furgões. Este será eventualmente dotado de pernas rebatíveis, permitindo-lhe colocar-se como um segundo chão do compartimento de carga do veículo (Fig.2.1).

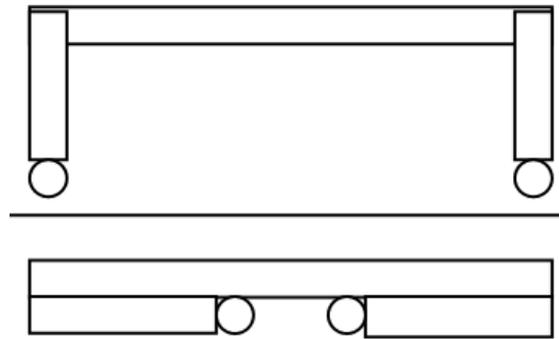


Fig.2.1 - Configuração básica do equipamento

Será manualmente manipulado por, idealmente, um único operador, mas poder-se-á estudar a hipótese de juntar um mecanismo de auxílio à movimentação. Poderá ser usado como uma palete “móvel”: será carregado e bastará ser empurrado para dentro da carrinha, para introduzir rapidamente, e de uma só vez, toda a mercadoria, não necessitando da presença de porta-paletes, empilhadores ou afins (Fig.2.2). A frustração de um eventual processo de carregamento repetitivo de vários pacotes será também eliminada.

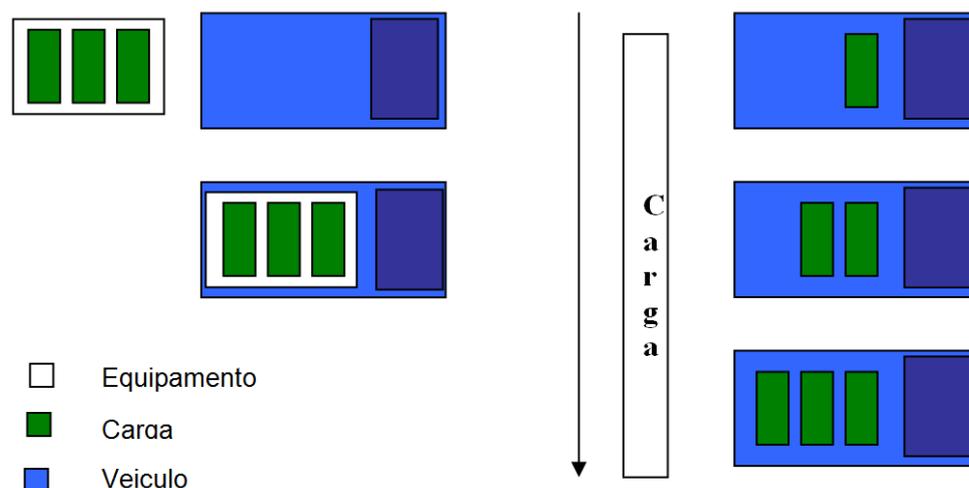


Fig.2.2 - Esquema de carregamento

Caso seja usado num circuito de distribuição, não necessitará do prévio planeamento da ordem de introdução e remoção da mercadoria; se o operador não conseguir aceder ao pacote que deseja porque está localizado no fundo da caixa de carga e está tapado por outros pacotes, bastar-lhe-á extrair a plataforma do compartimento de carga, como se fosse uma gaveta, aceder ao item desejado, e reintroduzi-la, num espaço de tempo reduzido (Fig.2.3).

Alguns furgões oferecem opções de portas laterais, de um ou ambos os lados dos veículos, para facilitar o acesso à mercadoria, mas não permitem retirar diretamente aquilo que se encontra no meio, ou pacotes volumosos. O dinheiro adicional requerido para as portas opcionais seria mais bem investido na plataforma, que apresenta mais vantagens nas condições de aplicabilidade.

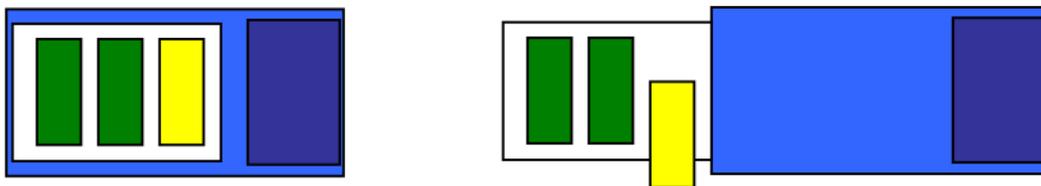


Fig.2.3 - Acesso a pacotes “tapados”

Apesar de serem maioritariamente utilizados para os camiões, o equipamento deverá poder ser inserido e retirado da carrinha sem a presença de um cais de carga (Fig.2.4 e 2.5).



Fig.2.4 - Cais de carga para camiões



Fig.2.5 - Cais de carga para furgões

2.2. PARÂMETROS

2.2.1. Tipo de Veículos

Para maximizar a rentabilidade desta plataforma, deverá ser usada com veículos comerciais ligeiros de transporte de mercadorias, de pequenas, médias e grandes dimensões, com caixa de carga fechada. Almeja-se uma utilização principalmente com veículos comerciais de caixa de carga fechada (Fig.2.6) porque, são muito mais populares que os seus homónimos de caixa aberta, e, o equipamento, apesar de ainda trazer algumas vantagens a

estas, não seria rentabilizado ao máximo porque alguns problemas que resolve simplesmente não se aplicam a furgonetas de caixa aberta. Neste momento, não se prevê a combinação com veículos pesados já que transportam massas muito elevadas que muito dificilmente poderiam ser manualmente movimentadas, mas uma eventual utilização modular com pequenos camiões poderá ser contemplada mais adiante.



Fig.2.6 - Veículo comercial ligeiro de caixa fechada

2.2.2. Características da Carga

A utilização da plataforma fará sentido para cargas transportáveis com massas compreendidas entre 25 kg, que é o valor a partir do qual não é recomendado um objeto ser transportado manualmente, até uma massa que depende do limite:

- Daquilo que o operador consegue empurrar;
- De carga admissível do veículo.

A plataforma será então adequada para acondicionar e transportar volumes médios e grandes. Já existe solução no mercado para o transporte e distribuição de mercadorias com volumes relativamente pequenos; as reduzidas dimensões dos pacotes oferecem flexibilidade suficiente para serem transportados num sistema de estantes instalado na caixa de carga de veículos comerciais (Fig.2.7).



Fig.2.7 - Furgão com sistema de estantes para transporte de pacotes

2.3. DESTINATÁRIOS

A utilização estratégica deste equipamento também poderá trazer benefícios. Imagine uma empresa que transporta mercadoria sistematicamente de um armazém para outro. Com três unidades do equipamento proposto e apenas um veículo de transporte, poder-se-á diminuir os tempos de entregas, e os períodos em que o veículo está parado à espera de carga. Enquanto o veículo for, carregado, a um armazém, no armazém de carga, outro equipamento transportador poderá ser carregado. Assim como, quando este descarrega a plataforma no armazém, já pode trazer a plataforma vazia para iniciar um novo ciclo (Fig.2.8).

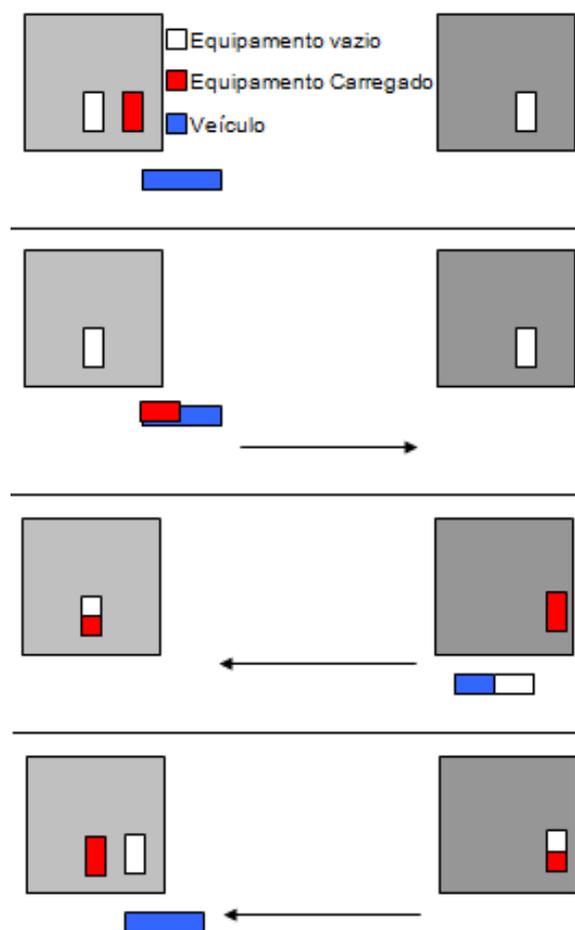


Fig.2.8 - Utilização estratégica do equipamento

Este equipamento trará o máximo de vantagens a entidades transportadoras que realizam transportes segundo circuitos de distribuição, geralmente urbanos e regionais, com origens e/ou destinos múltiplos e cargas e descargas parciais. Poderão ser empresas dedicadas à logística e ao transporte de todo o tipo de mercadorias com veículos ligeiros (*e.g.* transitários, correios) ou empresas que transportam cargas específicas (*e.g.* transporte de valores, distribuição de carnes).

Também é particularmente adequado para firmas, tais que, fabricantes ou armazenistas, que efetuam muita troca de carga entre os mesmos locais (*e.g.* fabricantes de móveis, de eletrodomésticos, indústria têxtil).

De um modo geral, qualquer setor de atividade que tenha que transportar cargas pesadas e/ou volumosas em furgonetas verá benefícios na utilização da plataforma transportadora.

3. ANÁLISE CONCETUAL GENÉRICA

3.1. ESTADO DA ARTE

Na atualidade, não existe equipamento disponível no mercado que resolva os problemas anteriormente referidos, para o transporte de mercadorias em veículos ligeiros. Todavia, há vários equipamentos de transporte sobre os quais, o sistema a que se aspira, poderá basear-se (ver *Anexo A*):

- Porta-paletes (Fig.A.1);
- Empilhadores (Fig.A.2);
- Carrinhos de mão (Fig.A.3);
- Sistemas para carregar e descarregar aviões cargo (Fig.A.4);
- Macas para transporte de pacientes em ambulâncias (Fig.A.5).

Observando a *Tabela A.1* do *Anexo A*, pode-se deduzir que o ideal seria juntar as funcionalidades, que se consideram qualidades, dos diversos sistemas referenciados acima, para criar um equipamento híbrido.

3.2. DIMENSÕES DE ACONDICIONAMENTO

Porque a plataforma transportadora que se vai projetar será inserida no compartimento de carga de um furgão, deverá adaptar-se a este. Efetuou-se então um levantamento das características relevantes dos modelos de veículos comerciais ligeiros com caixa de carga fechada, que são comercializados, e analisando a *Tabela B.1* do *Anexo B*, nota-se que:

- O comprimento das caixas de carga, de diferentes veículos, varia entre 150 e 470 cm (trata-se do comprimento interior que pode efetivamente ser utilizado para conter a mercadoria);
- A distância entre cavas das rodas varia entre 98 e 142 cm (a grandeza relevante aqui não é a largura interior total do compartimento de carga, mas sim, a largura ao nível do piso de carga, isto é, a distância entre as cavas das rodas traseiras);
- A altura do piso de carga do furgão relativamente ao solo varia entre 49 e 78 cm;
- O volume útil de carga varia entre 2,5 e 17 m³;
- A carga útil varia entre 520 e 2690 kg.

Pelos dados acima, vê-se que existe uma grande gama de tamanhos disponíveis. Estima-se que o equipamento deverá ocupar o menor volume possível dentro da caixa de carga do furgão para deixar o máximo de espaço para a colocação de mercadoria. Se se conceber um equipamento para um furgão de médias/grandes dimensões e se quiser, *a posteriori*, criar uma versão em menor escala para um furgão mais pequeno, a probabilidade de surgirem problemas de funcionamento, acondicionamento e de redução da eficiência do espaço será mais elevada. Vai-se então projetar a plataforma transportadora para o furgão de menor dimensão, desse modo, se posteriormente se desejar usar o conceito genérico para dimensionar uma plataforma para outro veículo (forçosamente de maiores dimensões), a extrapolação deverá ser facilitada. Mais ainda, um pequeno equipamento poderá ser usado diretamente com furgões de dimensões ligeiramente superiores se se achar que a perda de capacidade de carga, volumétrica e mássica, provocada, é desprezável.

De acordo com a *Tabela B.1 do Anexo B*, a furgoneta com o menor volume útil de carga é o modelo Peugeot Bipper (2,5 m³). Informação interessante, o Peugeot Bipper (Fig.3.1), o Fiat Fiorino e o Citroën Nemo são quase idênticos; os construtores realizaram um acordo para partilhar o mesmo chassis, os veículos finais diferindo só em alguns componentes. Alarga-se assim, logo à partida, o leque de veículos com que o equipamento poderá ser manipulado.



Fig.3.1 - Peugeot Bipper

Há também pequenas diferenças nas características das caixas de carga destes três furgões; vai-se escolher, de entre estes, as menores dimensões do piso de carga (150 × 105 cm), a maior altura do piso de carga ao solo (53 cm), e a maior carga útil (610 kg); desse modo, garante-se que o equipamento poderá ser diretamente utilizado com, no mínimo, qualquer um destes três veículos.

Comprimento máximo	[cm]	150
Largura máxima	[cm]	100
Altura mínima	[cm]	53
Capacidade de carga mínima	[kg]	610 - “massa do equipamento”

Para a utilização do equipamento ser maximizada, deverá ser dimensionado de modo a suportar uma carga mássica que corresponde à carga útil máxima do veículo, em que vai ser usado, a que se subtrai a massa do próprio equipamento.



Fig.3.2 - Europalette

Apesar do equipamento se destinar a, de certo modo, substituir as paletes, aumentaria ainda mais a sua versatilidade poder transportar estas (Fig.3.2). A dimensão estandardizada de uma paleta, na Europa, é 120×80 cm. Se a mesa de carga do equipamento tiver 150×100 cm, poderá transportar uma paleta.

3.3. REQUISITOS

Antes de iniciar a construção virtual de um modelo tridimensional com o programa CAD *Autodesk Inventor*, sente-se a necessidade de definir requisitos pelos quais se vai guiar a conceção, daqui em diante. Com a informação que foi, até agora, recolhida, podem-se definir os requisitos básicos, de preferência em hierarquia, que o equipamento deverá cumprir.

A classificação da *Tabela 3.1* segue então um ordenamento, decrescente relativamente à criticidade dos requisitos.

Tab.3.1 - Diretrizes

Requisitos	Observações
1) Suportar a carga, sem ser afetado, em condições normais de utilização	Requerimento básico implícito
2) Ser rapidamente introduzido e retirado da caixa de carga de um furgão, apesar da altura do piso de carga	Funcionalidade fundamental O esforço humano deverá ser aceitável
3) Ser manualmente movimentado fora do furgão	Quer-se um equipamento móvel
4) Ocupar o menor volume possível, dentro do compartimento de carga do furgão	Para deixar mais espaço para a mercadoria
5) Ter a menor massa possível	Se for demasiado pesado, não permitirá ao furgão transportar muita carga
6) A mesa, durante as operações de carregamento/descarregamento, deverá manter-se nivelada	Para evitar tombar a carga pousada no equipamento
7) Possuir elementos que permitam a fixação da mercadoria à mesa	Função padrão dos equipamentos que transportam carga
8) Ser imobilizado dentro do compartimento de carga do furgão	Por motivos de segurança
9) Possuir uma zona, ou zonas, a partir das quais poderá ser dirigido	Timão para o operador
10) Sistema de imobilização quando está fora do veículo	Travões
11) Ser ergonómico	Dentro do possível
12) Ser o mais barato possível	Considerar uso de componentes <i>off-the-shelf</i> ² e peças normalizadas

Vão-se usar estes dados como linhas de pensamento para passar à próxima fase do desenvolvimento.

² Peças, de funções básicas e características padronizadas, diretamente seleccionáveis em catálogos.

4. MODELAÇÃO VIRTUAL

4.1. PRINCÍPIO BÁSICO

Baseando-se no capítulo anterior, o equipamento já existente que mais se aproxima da plataforma transportadora que se pretende, é a maca para transporte de doentes em ambulâncias (Fig.A.5). O grande inconveniente, para a aplicação que se ambiciona, é o facto de o operador ter que suportar, momentaneamente, uma percentagem do peso da plataforma e da carga que transporta, durante o carregamento e descarregamento na ambulância. Para o transporte de doentes, geralmente realizado por dois operadores, a massa a levantar é aceitável, mas, para a nossa aplicação, em que se prevê o transporte de algumas centenas de quilogramas, por preferencialmente um único operador, será fisicamente impossível. Existem macas para o transporte de pacientes bariátricos, mas usam um sistema lento de rampa e guincho para introduzir a maca no veículo (Fig.4.1).



Fig.4.1 - Sistema de carregamento de um paciente bariátrico



Fig.4.2 - Maca Stryker M1 com sistema alternativo de rebatimento das pernas

Os fabricantes de material hospitalar resolveram então, com a intenção de permitir a um único operador carregar a maca rapidamente, desenvolver macas com mecanismos alternativos de rebatimento das pernas. A abordagem foi, de transferir o peso da maca para a ambulância, por etapas. Obtiveram a solução através da utilização de pernas dianteiras e traseiras independentes (Fig.4.2). Insere-se progressivamente a maca e, quando o compartimento de transporte da ambulância estiver a suportar pelo menos metade da massa (maca com paciente), levantam-se as pernas traseiras, e estas deixam de suportar peso. O operador poderá, por um curto espaço de tempo, ter que suportar uma parte do peso, mas será muito baixa, comparando com as macas mais tradicionais. O sistema terá que ser adaptado para que, o operador do equipamento que se está a projetar, não tenha que suportar nenhuma carga.



Fig.4.3 - Princípio de funcionamento da maca Stryker M1

Para este sistema funcionar, as pernas traseiras só podem rebater quando pelo menos 50% do peso da maca, carregada, estiver a ser suportado pela ambulância. Como se pode equiparar o peso do paciente a uma carga distribuída sobre a maca, é equivalente a dizer que é necessário ter introduzido no mínimo 50% do comprimento total da maca, antes de rebater as pernas traseiras (Fig.4.3).

4.2. CONFIGURAÇÃO INICIAL

Vai-se manter sempre em mente que se deverá favorecer o *design* mais simples possível, porque, reduz o número de componentes, o que, conseqüentemente, diminui o peso e o custo (fatores importantes), e aumenta a fiabilidade futura (mais componentes aumentam a probabilidade de falha).

Para otimizar o equipamento, vão se usar proporções contidas nas dimensões máximas. As cotas dimensionais só farão sentido aquando o dimensionamento.

Realizou-se então um esboço, apoiando-se na configuração da maca Stryker M1 (Fig.4.3). Também constam, no esboço, as trajetórias de rebatimento das pernas.

Ao contrário da maca Stryker M1, as pernas do equipamento são simétricas (Fig.4.4), para simplificar o *design*, para promover uma eventual modularidade posterior dos componentes, e para efeitos estéticos.

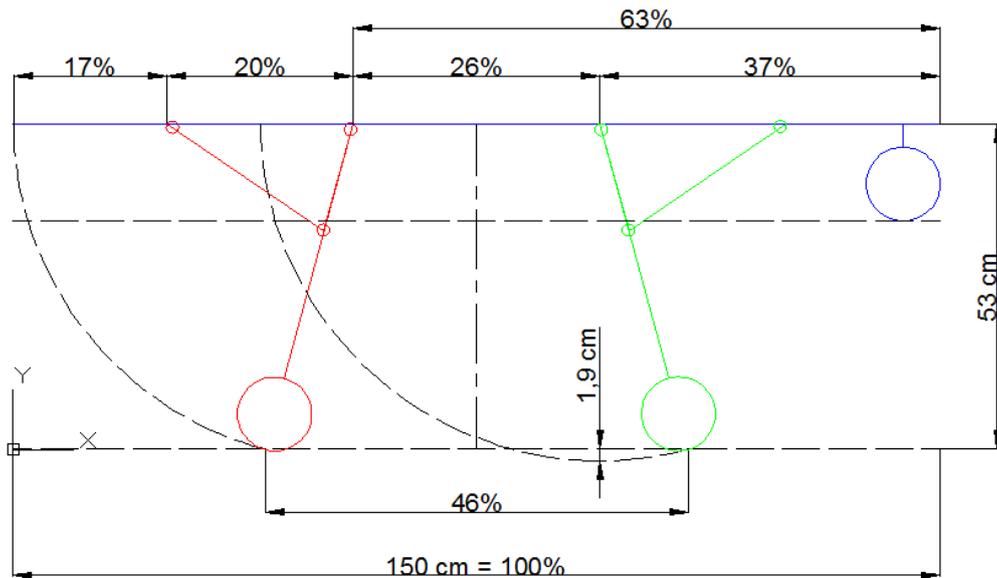


Fig.4.4 - Esboço do equipamento

Os apoios das pernas foram estrategicamente colocados debaixo da mesa de modo a tentar distribuir o efeito da futura carga ao longo do comprimento. As **pernas dianteiras** serão as primeiras a serem introduzidas no furgão e as **pernas traseiras** seguirão. O equipamento só poderá ser inserido num sentido, no veículo. O comprimento das pernas foi definido tendo em conta que, as pernas traseiras não podem ultrapassar o limite de comprimentos definido pela mesa. A altura mínima é de 53 cm, e, no solo, a distância entre os pontos de apoio das rodas entre as pernas dianteiras e traseiras deve ser de, pelo menos, aproximadamente 50% do comprimento total da plataforma, por motivos de estabilidade.

Com toda a informação que se possui, pode-se agora realizar uma modelação virtual introdutória no programa CAD *Autodesk Inventor* (Fig.4.5)



Fig.4.5 - Modelação virtual introdutória do equipamento

Constituição do equipamento:

- *Mesa*: chapa de 150 × 100 cm;
- *Par de pernas dianteiras*: são as primeiras pernas que vão ser rebatidas durante a introdução no furgão (Fig.4.6);
- *Par de pernas traseiras*: são as últimas pernas que vão ser rebatidas durante a introdução no furgão. São inclinadas relativamente ao plano vertical longitudinal do equipamento para que as pernas dianteiras não colidam com estas quando são rebatidas (Fig.4.6);
- *Guias lineares de translação*: guiam o rebatimento e posteriormente manterão as pernas nas posições “abertas” e “rebatidas”;
- *Barras intermédias pivotantes*: fazem a conexão entre as guias e as pernas;
- *Timões*: um à frente e outro atrás para aumentar a manobrabilidade fora do furgão;
- *Rodas da mesa*: permitirão o deslizamento da plataforma dentro da caixa de carga (Fig.4.6);
- *Rodas das pernas*: para permitir a movimentação fora do furgão. A geometria das pernas foi escolhida de modo a que as rodas estejam localizadas muito próximas dos limites de largura, para aumentar a estabilidade do equipamento. O diâmetro das rodas (120 mm) foi seleccionado de modo a superar os pequenos obstáculos durante as movimentações;
- *Âncora*: para fixar o equipamento na caixa de carga.

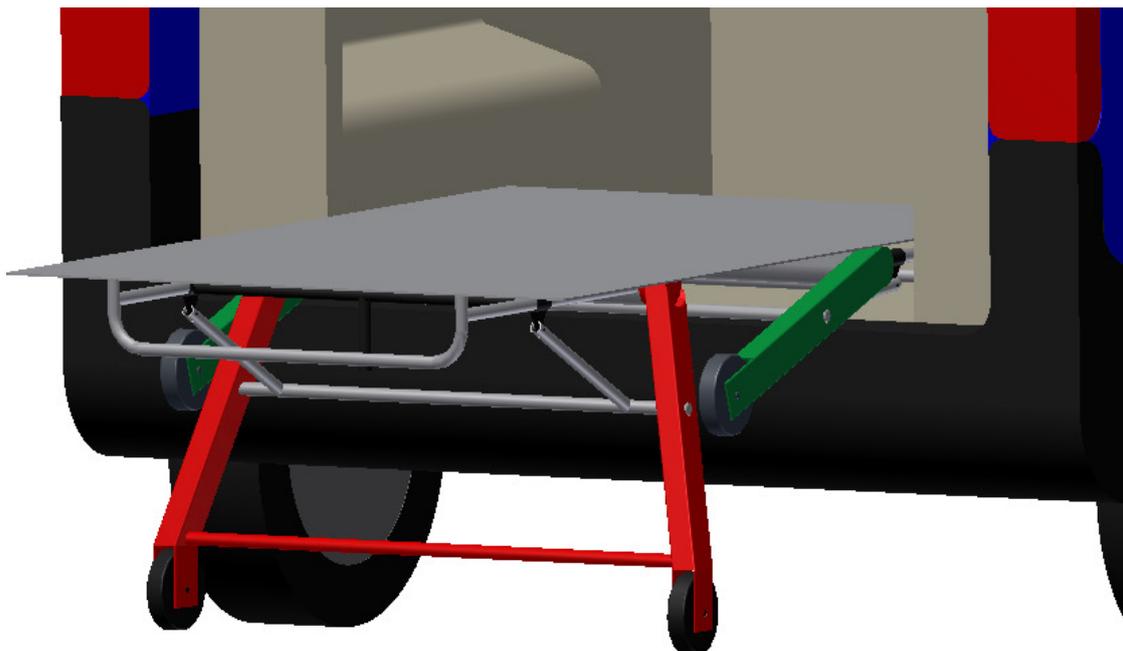


Fig.4.6 - Rebatimento das pernas dianteiras

Esta construção preliminar, permite desde já identificar várias modificações importantes que deverão ser implementadas.

Segundo a trajetória de rebatimento das pernas dianteiras, visível no esquema do equipamento (Fig.4.4), o equipamento vai ser elevado de 1,9 cm durante a inserção na caixa de carga. Poderá ser difícil para o operador, vencer esta elevação, quando estiver a tentar inserir a plataforma carregada, na furgoneta.

As barras pivotantes das pernas dianteiras vão bater com a caixa de carga da carrinha e não vão permitir o rebatimento destas (Fig.4.7): a altura, entre o ponto de rotação pernas-barras e a mesa, terá que ser alterada para um valor, inferior à altura que vai das extremidades das rodas da mesa à própria mesa.

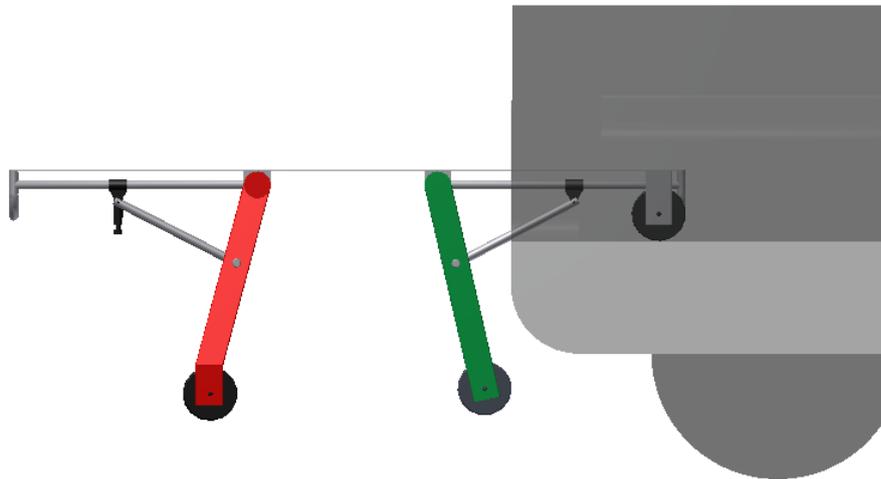


Fig.4.7 - Colisão entre as barras pivotantes e o furgão

As pernas dianteiras não poderão rebater completamente porque as suas barras vão interferir com o ponto de rotação das pernas (Fig.4.8).

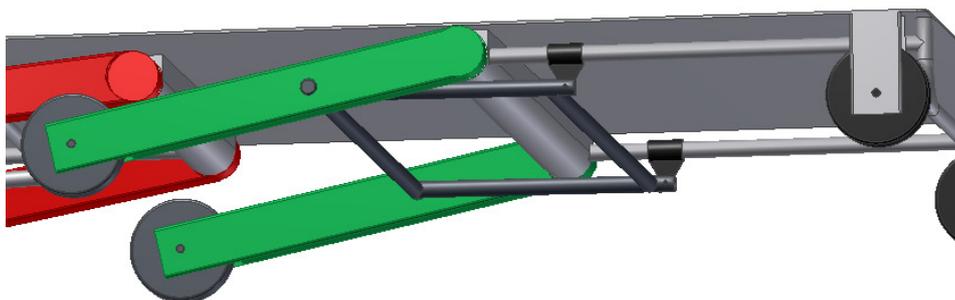


Fig.4.8 - Colisão entre as barras pivotantes e o ponto de rotação das pernas dianteiras

As pernas traseiras também não poderão rebater completamente porque a barra transversal de reforço que as une colide com as suas respectivas barras pivotantes (Fig.4.9).

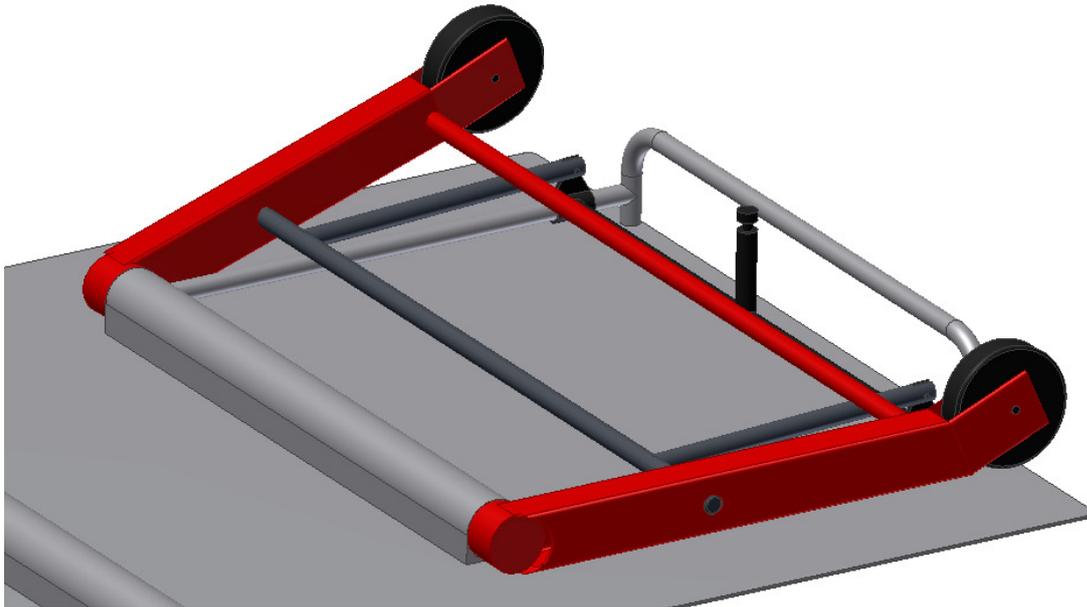


Fig.4.9 - Colisão entre as pernas traseiras e as suas barras pivotantes

O equipamento é demasiado baixo para poder ser introduzido no furgão, e para ser ergonómico (Fig.4.10). De notar que as imagens anteriores que mostram o equipamento a ser inserido no compartimento de carga são somente para ilustrar aspetos específicos.

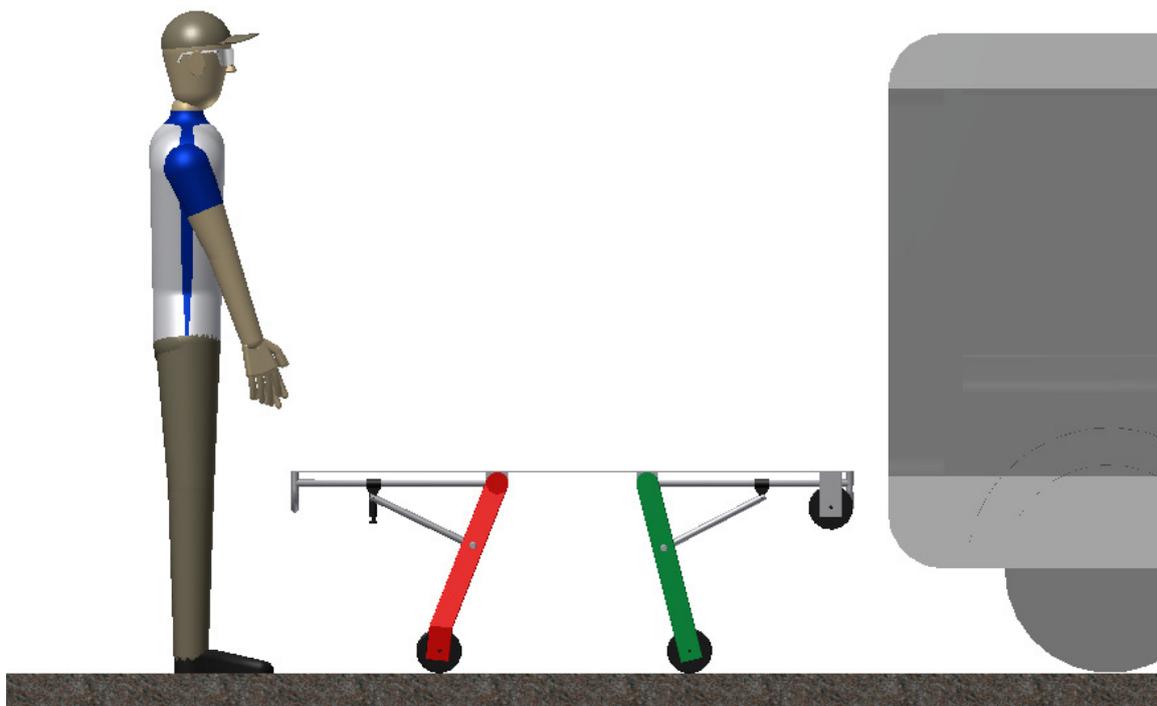


Fig.4.10 - Altura do equipamento relativamente ao piso de carga e um operador

4.3. SEGUNDA CONFIGURAÇÃO

Tendo em conta as observações apontadas, chegou-se a uma segunda iteração (Fig.4.11).



Fig.4.11 - Segunda configuração modelizada do equipamento

Alterações:

- i) Realizou-se uma estrutura;
- ii) Colocaram-se rodas com suportes;
- iii) Modificaram-se as pernas;
- iv) Alterou-se a configuração dos mecanismos de rebatimento e guiamento das pernas e barras pivotantes;
- v) Redesenhou-se o timão;
- vi) Removeu-se a âncora.

Selecionaram-se rodas ($\varnothing 125$ mm) com suportes, para as pernas e a estrutura. Devido ao peso elevado que o conjunto a movimentar poderá atingir, estima-se que equipar somente as pernas traseiras (as mais próximas do timão) com rodas direcionais, otimizará a manobrabilidade. Escolheram-se rodas direcionais com travões para permitir ao operador imobilizar o equipamento, a partir do posto de comando (extremidade do equipamento com o timão).

Os suportes das rodas estão descentrados relativamente às pernas (Fig.4.11), de modo a tornar as pernas “lisas”, e evitar que os suportes das rodas impeçam a inserção do equipamento na carrinha (Fig.4.12).

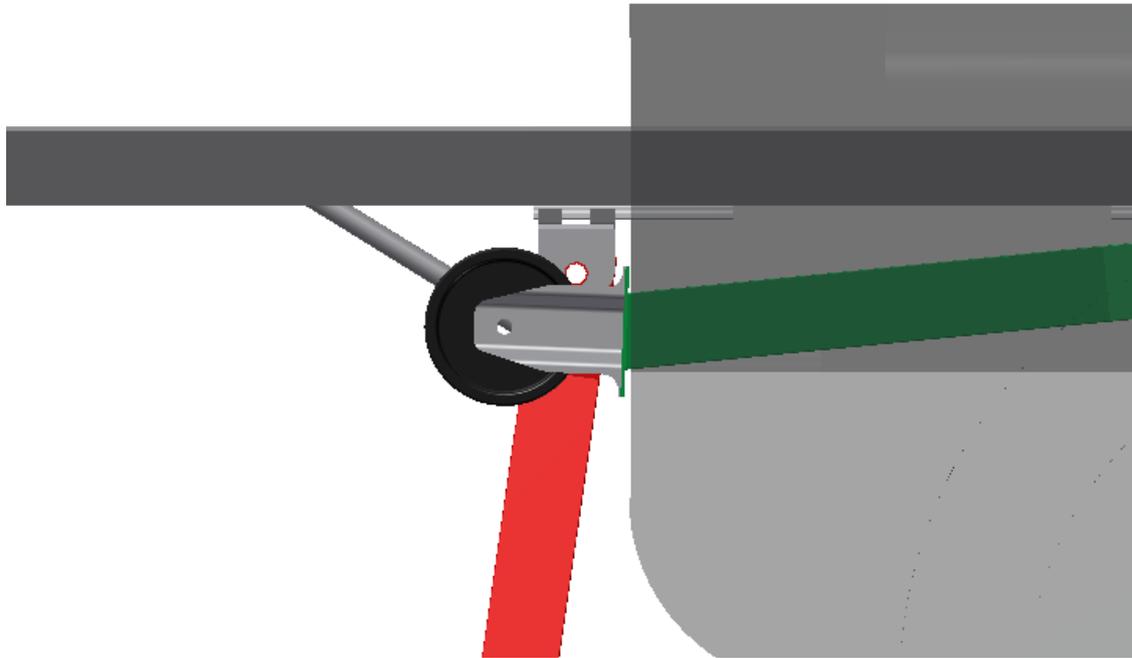


Fig.4.12 - Impedimento de inserção devido aos suportes das rodas

Na primeira modelação do equipamento, identificaram-se os seguintes problemas que iriam dificultar ou até impedir o seu bom funcionamento:

- Altura insuficiente do equipamento;
- Elevação do equipamento de 1,9 cm na introdução;
- Colisão entre as barras pivotantes e o furgão;
- Colisão entre as barras pivotantes e ponto de rotação das pernas dianteiras;
- Colisão entre as pernas traseiras e respectivas barras pivotantes;

Para elevar a altura da plataforma, aumentou-se o comprimento das pernas, mas tal implicou também uma alteração na configuração dos mecanismos de rebatimento e guiamento das pernas e barras pivotantes. Graças a escolhas judiciosas, atenuou-se e eliminou-se, de uma só vez, os problemas, à esquerda, apontados.

Ao aumentar o comprimento das pernas, as pernas traseiras, já não ficariam totalmente acondicionadas debaixo da mesa: iriam transbordar para além do comprimento máximo admissível do equipamento. Em vez de deslocar os pontos de rotação das pernas, para compensar o tamanho extra das pernas, mudou-se a forma como as pernas rebatem ao realocar os sistemas de guiamento entre as rótulas das pernas e a estrutura (Fig.4.13). As pernas rebatem agora num movimento composto de rotação e translação. Esta nova configuração implicou a alteração dos diferentes pontos de rotação dos mecanismos, mas o modo como foi implementado erradicou as interferências que ocorriam, e diminuiu a elevação provocada pelo rebatimento das pernas dianteiras, durante a introdução do equipamento no compartimento de carga.

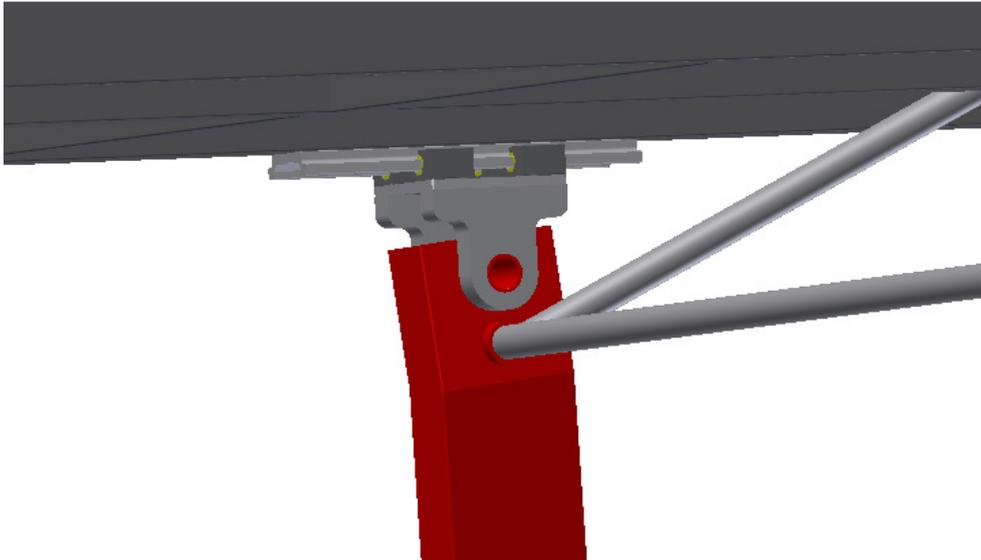


Fig.4.13 - Sistema de rebatimento composto de rotação e translação

No procedimento realizado, aumentou-se então a altura do equipamento, e depois, redimensionou-se o timão para uma altura ergonómica ideal de 95 cm relativamente ao solo (Fig.4.14). O timão não se deve estender até os limites de largura do equipamento para evitar que o operador entale as mãos ao manobrar em espaço confinados.



Fig.4.14 - Altura revista do equipamento e do timão

O processo de maximização das características do equipamento resulta numa interligação das diversas variáveis dimensionais. Tem-se procurado um equilíbrio entre numerosos parâmetros. Para não sobrecarregar ainda mais a conceção, decidiu-se remover a âncora para esta ser mais tarde, adaptada às especificações mais recentes do equipamento.

4.4. TERCEIRA CONFIGURAÇÃO

Analisando a última construção, desenhou-se uma nova versão do equipamento em que se aperfeiçoaram certos aspetos (Fig.4.15).

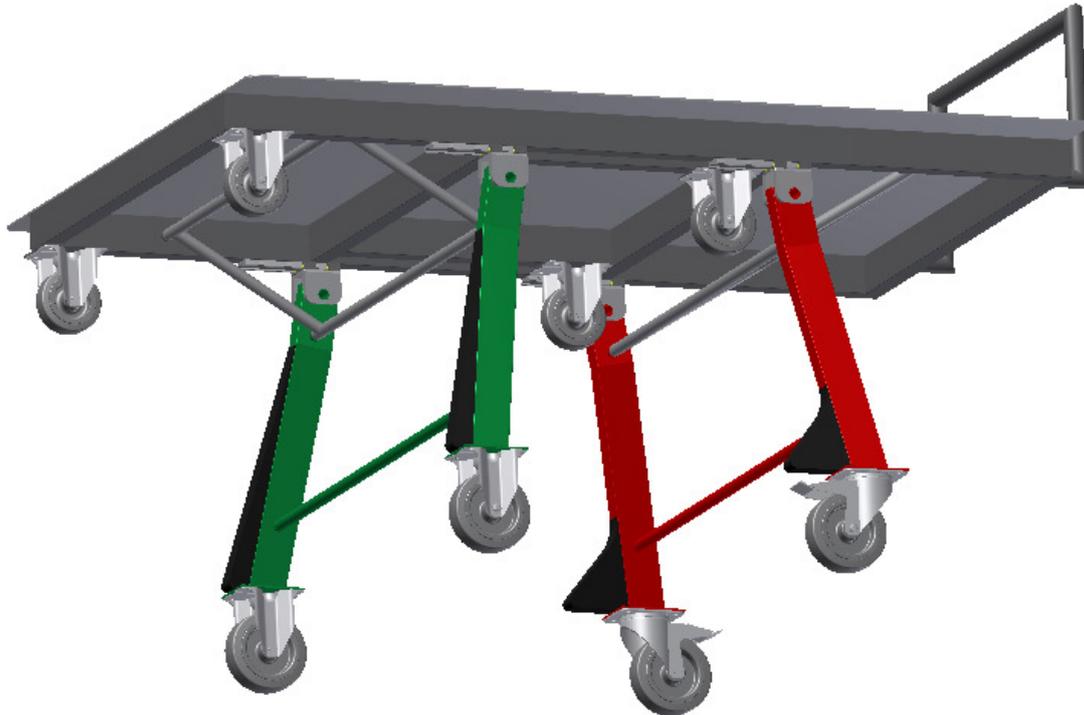


Fig.4.15 - Terceira versão modelizada do equipamento

Modificações relativamente ao anterior:

- i) Reconfigurou-se a estrutura;
- ii) Redesenharam-se as barras pivotantes;
- iii) Aperfeiçoaram-se as pernas;
- iv) Alteraram-se e adicionaram-se rodas;
- v) Modificou-se o timão.

O comprimento máximo do equipamento passou para 148 cm, para permitir alguma tolerância com a caixa de carga (150 cm), e manteve-se a largura máxima (100 cm). A estrutura e a mesa têm agora um comprimento de 140 cm, e o timão foi afastado de 8 cm. A estrutura foi reforçada nos pontos de apoio das pernas, e para acolher o novo desenho das barras pivotantes. Adicionaram-se dois perfis à estrutura para suportar duas rodas suplementares.

As barras pivotantes têm agora um desenho mais simples e robusto.

Melhoraram-se os aspetos construtivos pouco práticos das anteriores pernas inestéticas. As pernas dianteiras e traseiras são agora idênticas; são somente montadas de forma diferente. Têm proteções de deslizamento diferentes para permitir uma inserção suave na caixa de carga. Os suportes das rodas, que estavam inclinados (alinhados com as pernas), quando as pernas estavam abertas, estão agora na vertical porque, vão ser escolhidos em catálogos, e essas rodas *off-the-shelf* são projetadas para serem assim utilizadas.

Acrescentaram-se duas rodas à estrutura: as agora quatro rodas permitem transferir todo o peso do equipamento para o veículo antes de rebater as pernas traseiras. A altura dos perfis, e a altura das rodas e seus suportes, montadas debaixo da estrutura, definem a espessura da maca, e conseqüentemente, o volume que ocupará dentro do furgão. Como se consegue acondicionar todos as partes móveis numa pequena espessura, quando as pernas estão rebatidas, reduziu-se o diâmetro das rodas da estrutura de Ø125 mm para rodas de Ø100 mm, mais leves e baratas. As rodas da estrutura, assim como as das pernas, são agora modelos de borracha, porque tornará a manipulação fora do veículo mais suave e silenciosa, e não danificará o para-choques traseiro do furgão quando as rodas da estrutura entrarem em contacto com este.

Como foi referido, o timão foi afastado 8 cm da mesa, para a mercadoria aí pousada não interferir com a capacidade de agarrar o timão (Fig.4.16). Pode ser agarrado horizontalmente ou verticalmente, porque é agora constituído por tubos unidos em ângulos retos, em vez de um tubo que foi dobrado, e adapta-se melhor às diferentes fisionomias dos potenciais utilizadores (nomeadamente, diferentes alturas das pessoas). Os tubos verticais estão afastados 55 cm, considerado o valor mais adequado para realizar esforço de rotação para direccionar o equipamento, quando se está a segurar o timão verticalmente.



Fig.4.16 - Equipamento com timão ergonomicamente otimizado

Observando o mecanismo de rebatimento das pernas traseiras, identifica-se um potencial problema: existe a possibilidade de as pernas traseiras não conseguirem rebater devido à posição do ponto de rotação, entre as pernas e as suas barras pivotantes, relativamente à altura do piso de carga da furgoneta (Fig.4.17).

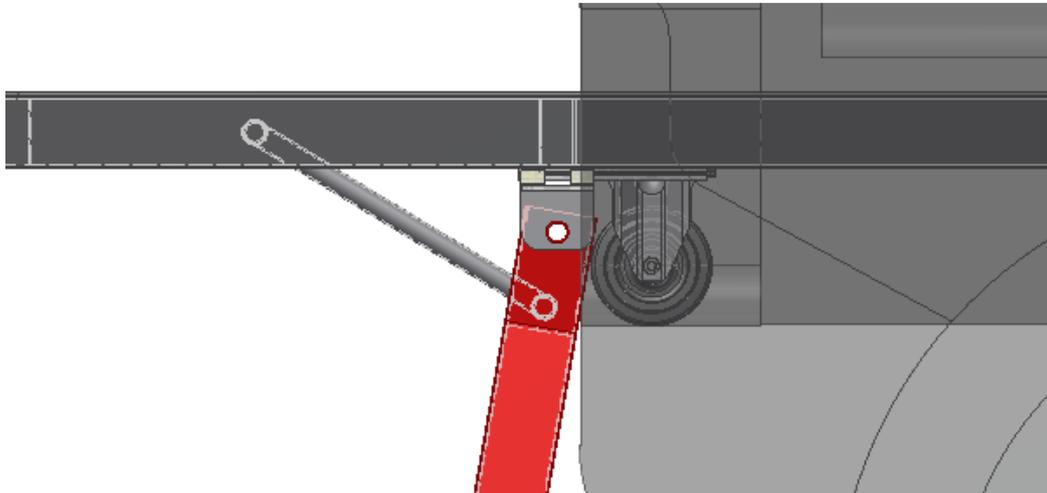


Fig.4.17 - Possível encravamento das pernas traseiras

4.5. CONFIGURAÇÃO OTIMIZADA

Realizou-se uma montagem virtual do equipamento com a mais recente afinação (Fig.4.18)

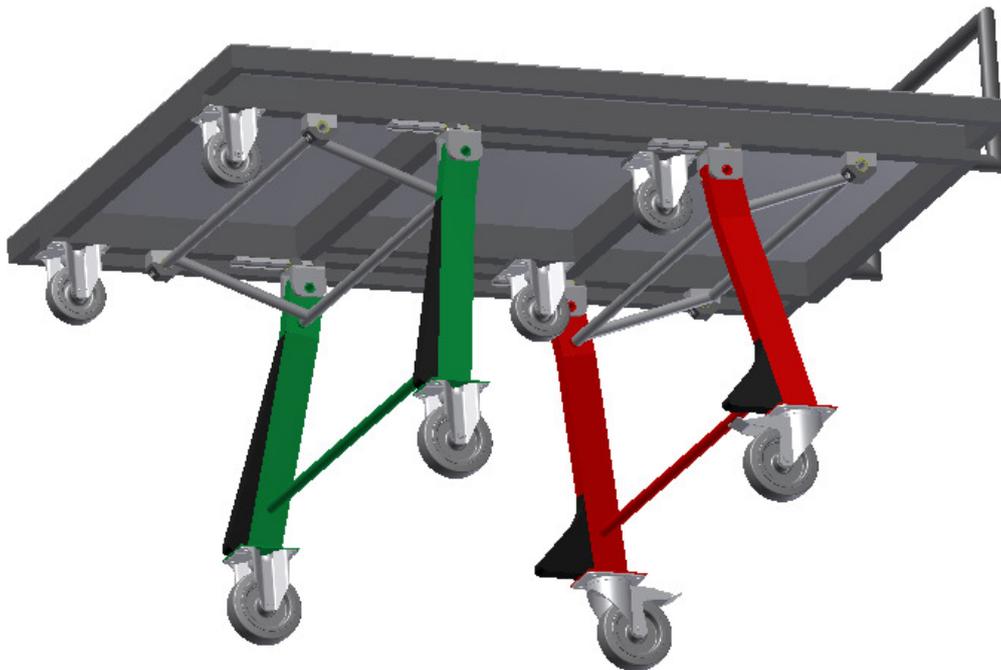


Fig.4.18 - Iteração virtual otimizada do equipamento

Para resolver a impossibilidade de rebatimento das pernas traseiras anteriormente referida, mudou-se o ponto de rotação das barras pivotantes (Fig.4.19), colocando *chumaceiras* para estes, debaixo da estrutura. Crê-se também que o anterior posicionamento do ponto de rotação poderia posteriormente provocar potenciais concentrações de tensões nos perfis estruturais.

A presença das chumaceiras forçou uns ajustes menores para evitar interferências entre componentes durante o rebatimento das pernas.

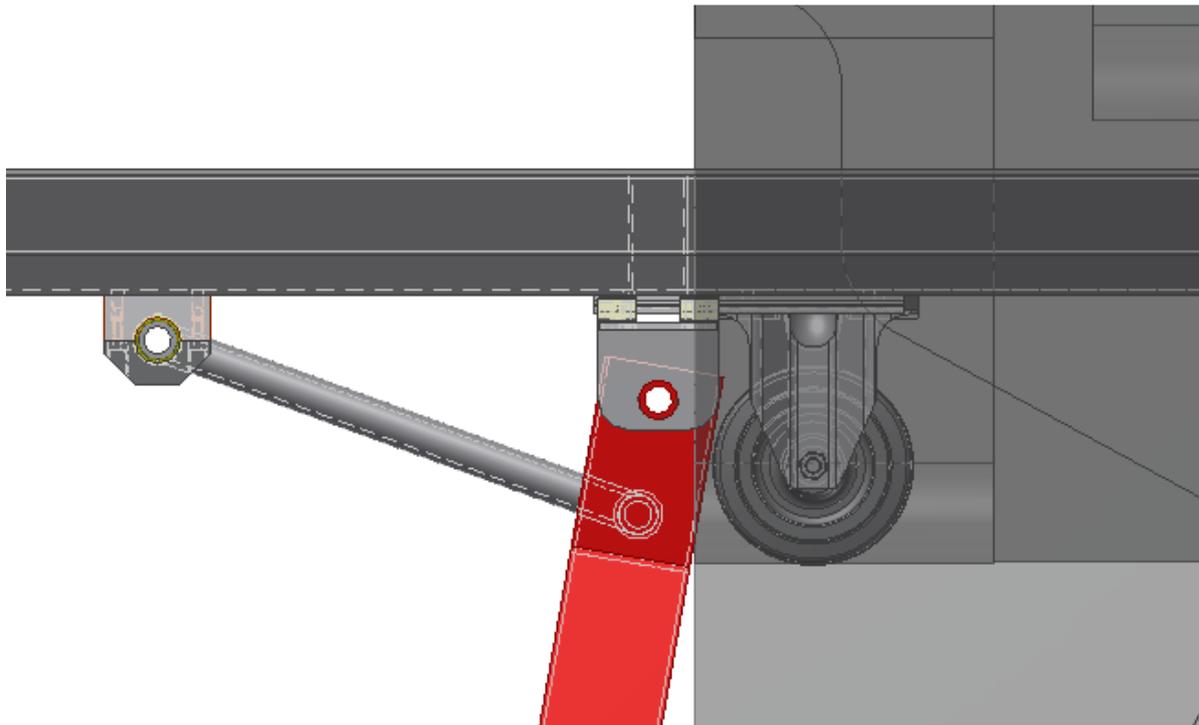


Fig.4.19 - Alteração da geometria do mecanismo de rebatimento

Aplicaram-se as alterações ao restante equipamento em consonância com o favorecimento da simetria e da modularidade que foi anteriormente estabelecido.

À semelhança daquilo que foi previamente feito, desenhou-se um esquema da nova configuração do equipamento (Fig.4.20). Segundo este esquema, prevê-se, nesta fase, que o equipamento tenha uma “espessura” de 20 cm, ou seja, ocupará 20 cm de altura do compartimento de carga, quando lá estiver colocado. Se a caixa de carga do furgão tem uma altura de 121 cm (Tab.B.1 do *Anexo B*), o equipamento ocupará 16,5% da altura, o que se considera ser um valor perfeitamente aceitável.

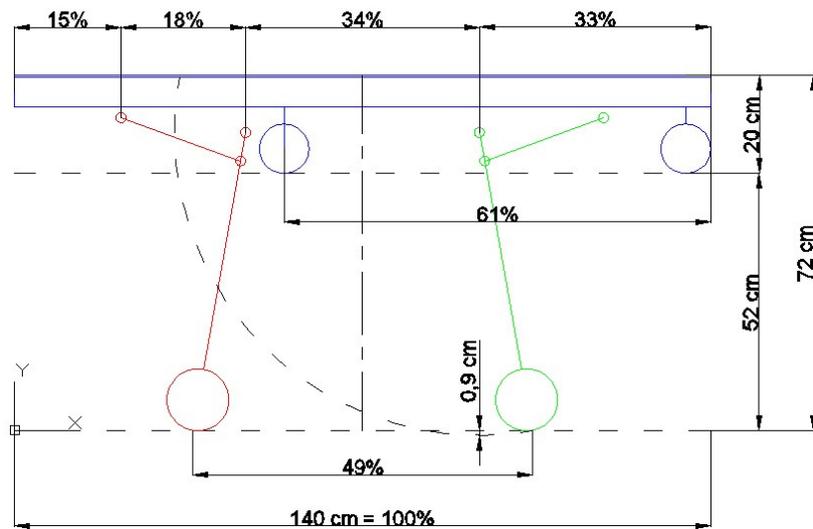


Fig.4.20 - Esquema do equipamento

O valor ergonômico, considerado ideal para a maioria da população, da altura a que se deve encontrar um pacote pesado, para ser manualmente transportado, é 80 cm. Se a altura for superior, será necessário fornecer um esforço adicional de braços para elevar a carga e pousá-la, mas, se for inferior a 80 cm, bastará baixá-la. Constata-se que a altura da mesa do equipamento relativamente ao solo (72 cm) é ligeiramente inferior a 80 cm (Fig.4.20).

Comparando o mesmo esquema com o esboço inicial (Fig.4.4), nota-se que se melhorou a elevação que o operador tinha que vencer, ao empurrar o equipamento na carrinha, passando de 1,9 para 0,9 cm. Para eliminar os esforços que isso criará nas pernas dianteiras, ajustou-se a altura entre as rodas da estrutura e o solo em 52 cm, inferior à altura do piso de carga (Fig.4.21), assim, o operador fornecerá esforço para as rodas da frente da estrutura subirem ligeiramente e libertarem espaço para as pernas dianteiras fecharem e abrirem sem entraves. Prevê-se que esse ajuste de altura possa ser afinado, colocando por exemplo, calços mais ou menos espessos, entre, os suportes das rodas e a estrutura.

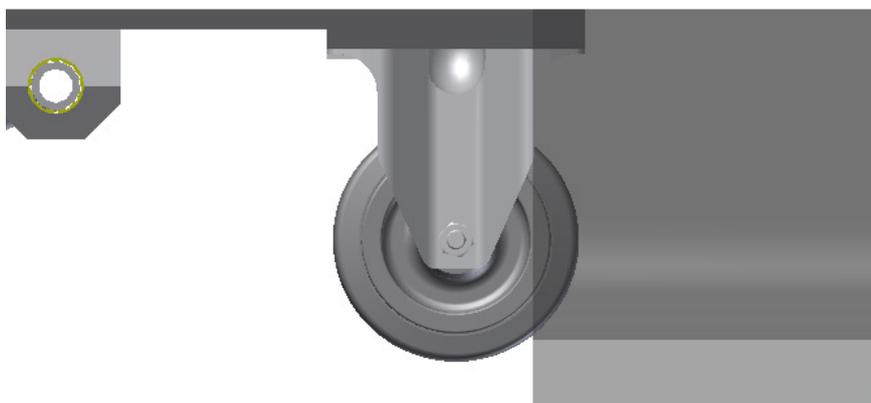


Fig.4.21 - Diferença de altura entre as rodas da estrutura e o piso de carga

Adicionaram-se também à estrutura, perfis que seguem a periferia da mesa, para proteger esta (Fig.4.22). Estes perfis são de menor secção para permitir o completo rebatimento das pernas traseiras, evitando o contacto entre as rodas e a nova configuração da estrutura.

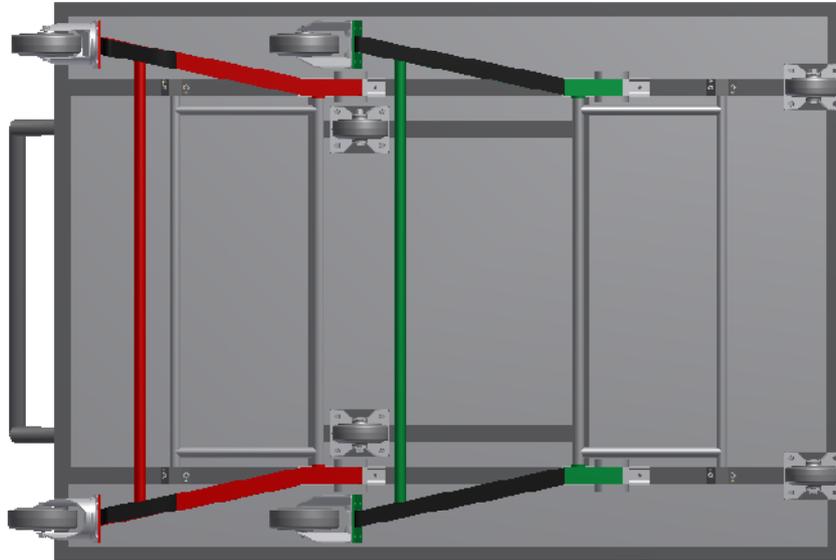


Fig.4.22 - Vista de baixo do equipamento com as pernas rebatidas

Olhando para a imagem anterior, distinguem-se claramente as folgas que evitem contactos indesejados entre as peças. Repara-se também que fica tudo contido dentro das dimensões máximas que foram escolhidas.

Não se pode deixar de realçar que, a configuração do equipamento é globalmente simétrica (à exceção das rodas na estrutura e das proteções das pernas), quando as pernas estão abertas, relativamente ao eixo transversal, mas é totalmente simétrica relativamente ao eixo longitudinal.

Podem-se verificar as proporções do equipamento na imagem abaixo (Fig.4.23).

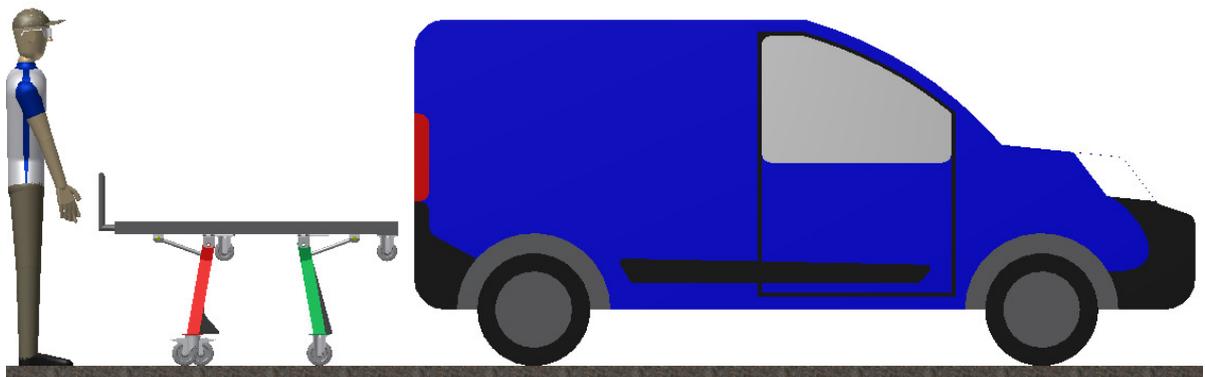


Fig.4.23 - Proporções relativamente ao veículo e ao operador

A altura do equipamento, relativamente ao piso de carga do furgão, está representada na *Figura 4.24*.

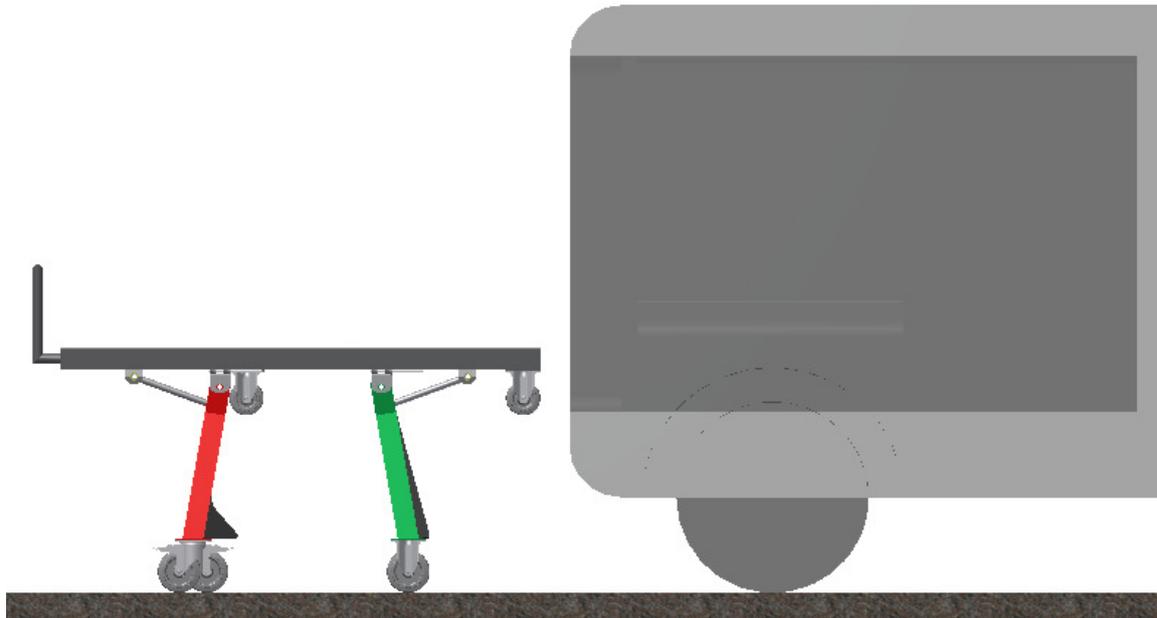


Fig.4.24 - Altura do equipamento relativamente ao piso de carga

O equipamento, quando acondicionado dentro da caixa de carga, terá a posição seguinte (Fig.4.25).

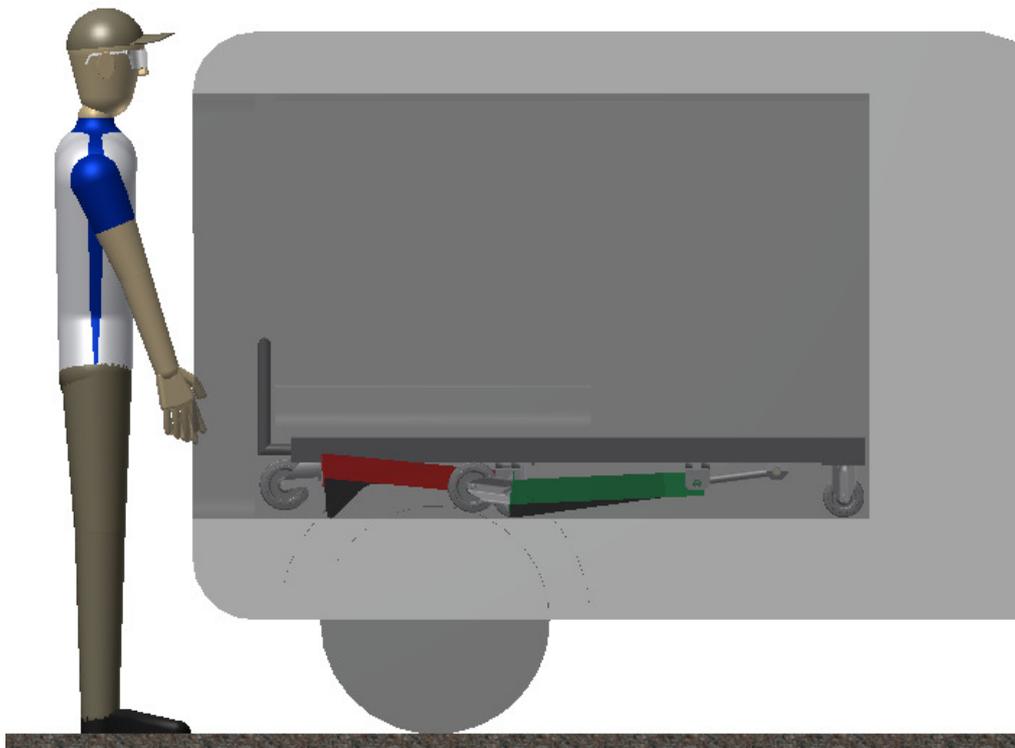


Fig.4.25 - Equipamento inserido no furgão

5. OPÇÕES CONSTRUTIVAS E DE FUNCIONAMENTO

Distinguem-se duas filosofias oficiosas distintas para a construção do modelo tridimensional:

- a) Arbitrar aleatoriamente dimensões para os diversos componentes, dentro do atravancamento definido;
- b) Selecionar dimensões coerentes de componentes *off-the-shelf* disponíveis (e eventualmente normalizados) e integrar diferentes conceitos.

Com a filosofia **a)**, constrói-se a máquina e, só após a determinação dos esforços e das tensões é que existe uma preocupação com os materiais e as dimensões das peças; é a metodologia normalmente utilizada nos projetos de máquinas.

Neste caso, a compactidade e o peso são fatores importantes. Constata-se, para a modelação virtual no capítulo anterior, que se optou pela filosofia **b)**, para diminuir as hipóteses de obter um equipamento demasiado pesado e/ou volumoso numa fase muito adiantada do projeto, e ter que voltar atrás para rever profundamente grande parte do trabalho efetuado. A evolução da conceção foi mais lenta, porque integraram-se simultaneamente conceitos (*e.g.* ergonomia) e dimensões de peças reais, que pareciam adequadas, mas aumentou-se assim as probabilidades de obter um equipamento que cumpra os requisitos com sucesso, sem necessitar uma revisão completa.

Integraram-se então, componentes básicos, selecionados preferencialmente em catálogos de materiais leves (*e.g.* alumínio):

- Os perfis retangulares e tubulares usados para a estrutura, o timão, as pernas e as barras pivotantes;
- A chapa usada para a mesa, a estrutura e as pernas;
- As rodas com os suportes;
- As chumaceiras das barras pivotantes;
- Os sistemas de guias e patins.

Para algumas peças que constituem o equipamento, bastará conhecer os esforços que suportam para seleccioná-las diretamente em catálogos.

Os pares rotoides que conectam os patins às pernas, denominados *Apoios das Pernas*, não foram modelados de acordo com nenhuma rótula de catálogo, mas existem em *off-the-*

shelf. Existe também muita variedade de casquilhos, disponíveis em materiais poliméricos auto-lubrificadas, para os diversos pares rotóides do equipamento.

O sistema de fixação da carga à mesa não foi representado, mas já existem soluções comercializadas para o efeito.

Faltava definir o modo de funcionamento do sistema de bloqueio/desbloqueio das pernas. Recordar-se que esse mecanismo deverá impedir o movimento das pernas quando estas estão abertas e o equipamento está carregado, e libertar esse impedimento quando se desejar rebater as pernas para introduzir o equipamento no veículo. Para esse efeito, deseja-se usar imobilizadores de libertação por pressão hidráulica (Fig.5.1), nos quatro patins, que vão ser atuados a partir de alavancas colocadas no timão (Fig.5.2).



Fig.5.1 - Imobilizador



Fig.5.2 - Alavanca de travagem hidráulica

O módulo de imobilização estará ligado ao patim, e ambos deslizarão sobre a mesma guia específica. Não são travões, mas sim, imobilizadores, cujas maxilas apertam a guia para manter a posição. São conjuntos robustos, disponíveis no mercado, usados em máquinas industriais, e projetados para manter fixas cargas elevadas. Estes sistemas são “normalmente fechados”, com molas de alta tensão, o que significa que, quando a alavanca não estiver a ser pressionada, os imobilizadores estarão atuados, isto é, a apertar a guia. Para libertar os imobilizadores, deverá se pressionar a alavanca (uma para comandar as pernas dianteiras e outra para as pernas traseiras) que, através de pressão hidráulica transmitida por tubos flexíveis, libertará o patim, e permitirá o rebatimento das pernas. As alavancas são semelhantes aos sistemas de travagem leves e compactos usados nos motociclos, mas são modelos usados em veículos mais pesados (*e.g.* moto 4, máquinas de cortar relva).

O diâmetro considerado ideal para segurar firmemente um timão, é entre 4 e 5 cm, mas, o timão da última configuração tem um diâmetro de 3 cm, para permitir eventualmente fixar as alavancas hidráulicas. Poderá equacionar-se aumentar o diâmetro do timão, se necessário, com um revestimento em material polimérico, nas zonas em que as mãos agarrarão este.

A abertura automática das pernas poderá ser realizada por duas molas de torção (Fig.5.3) em cada par de pernas, estrategicamente colocadas entre as pernas e as suas barras pivotantes (Fig.5.4).



Fig.5.3 - Mola de torção

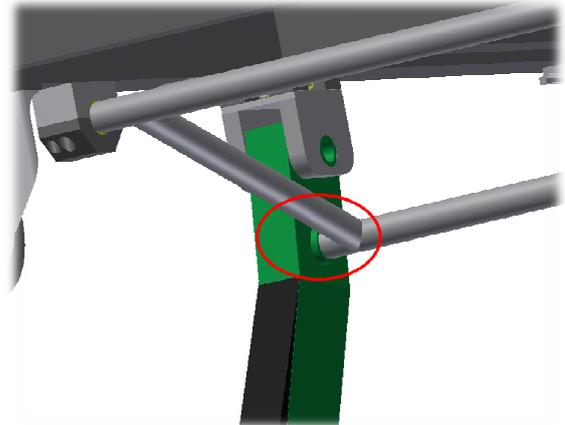


Fig.5.4 - Local de colocação das molas de torção

Se se revelarem inadequadas, uma possível alternativa seria utilizar êmbolos pneumáticos auto-atuados à semelhança daqueles usados para continuar automaticamente o movimento de abertura das malas do automóveis (Fig.5.5).



Fig.5.5 - Êmbolo de bagageira de automóvel

6. PROJETO MECÂNICO GLOBAL

6.1. SIMULAÇÕES DINÂMICAS

Transferiu-se a última configuração do equipamento para o *software* de simulação cinemática, dinâmica e de análise de tensões, o programa *MSC.visualNastran 4D*. Quer-se confirmar se o equipamento se comportará da forma que se pretende, quando for empurrado para ser inserido, e puxado para ser retirado, da caixa de carga. Os componentes do equipamento foram ajustados para que as suas geometrias não sobrecarregassem a capacidade de processamento do *software*, e foram montados para formar o equipamento. Durante a montagem virtual do equipamento, indicaram-se os tipos (*e.g.* fixo, rotação, translação), as orientações, os limites e os coeficientes de atrito, dos movimentos relativos, que deverão existir entre os componentes, nas suas ligações (ver *Anexo C*). De modo a verificar a existência de interferências e, para mais uma vez, aliviar o processamento, comunicou-se ao programa as diferentes peças que poderão possivelmente colidir.

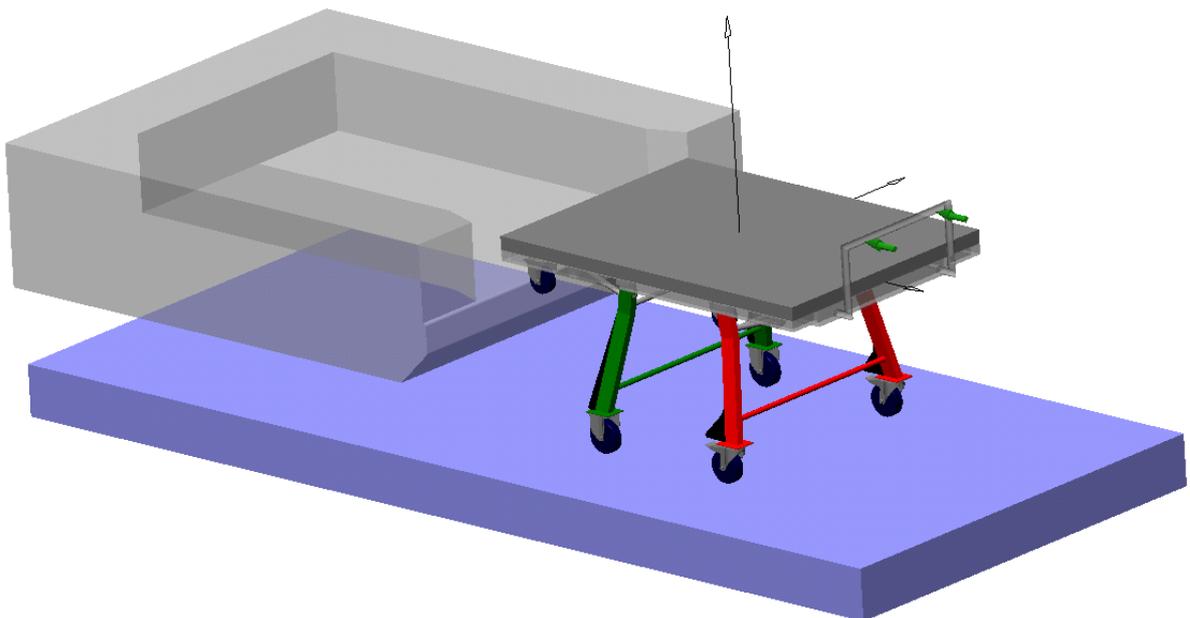


Fig.6.1 - Simulação de introdução do equipamento

Segundo as diretivas de ergonomia, a força máxima recomendada para empurrar com as duas mãos é de 340 N. Aplicaram-se então duas forças de 170 N no timão (F_{i1} e F_{i2}), que correspondem à força que cada mão transferirá ao equipamento (Fig.6.1). Também se introduziu uma representação simplificada do compartimento de carga devidamente posicionada e dimensionada.

Segundo a *Tabela C.1* do *Anexo C*, estima-se que o equipamento pesará cerca de 37 kg. O peso final do equipamento será muito provavelmente mais elevado, mas permite desde já definir um peso aproximado da carga máxima que deverá suportar. A carga sobre o equipamento foi aplicada sob a forma de uma laje. A laje, que está uniformemente fixada à mesa, representa a aplicação de uma carga distribuída sobre a mesa, e a sua massa é de $610 - 37 = 573$ kg (610 kg é a carga útil máxima transportável pelo furgão, segundo o *Anexo B*).

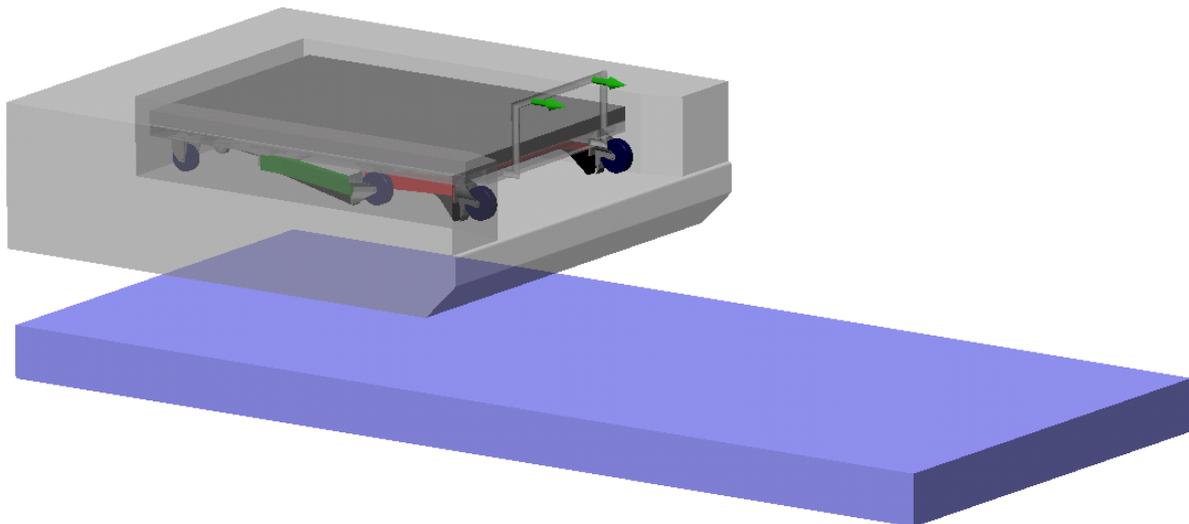


Fig.6.2 - Simulação de extração do equipamento

Para puxar, a força máxima recomendada é de 320 N. Na simulação de extração do equipamento de dentro do veículo, aplicaram-se então duas forças, F_{e1} e F_{e2} , de 160 N (Fig.6.2).

6.1.1. Inserção

Tendo os modelos de inserção e extração prontos, procedeu-se ao processamento das simulações, começando pela introdução (Fig.6.3).

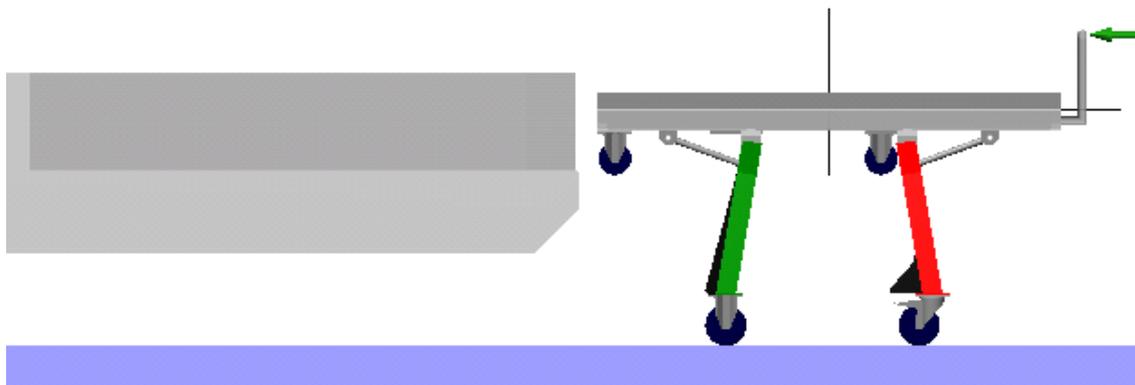


Fig.6.3 - Posição inicial da simulação de introdução

Quando as rodas da frente da estrutura do equipamento atingem a caixa de carga, estas sobem para o piso de carga e interrompem o contacto entre as rodas das pernas dianteiras e o solo (Fig.6.4). A folga, criada entre as pernas dianteiras e o solo, tem um valor previsto para que as pernas rebatem totalmente sem que as suas rodas voltam a tocar o solo; permitirá posteriormente uma abertura automática das pernas dianteiras, na extração.

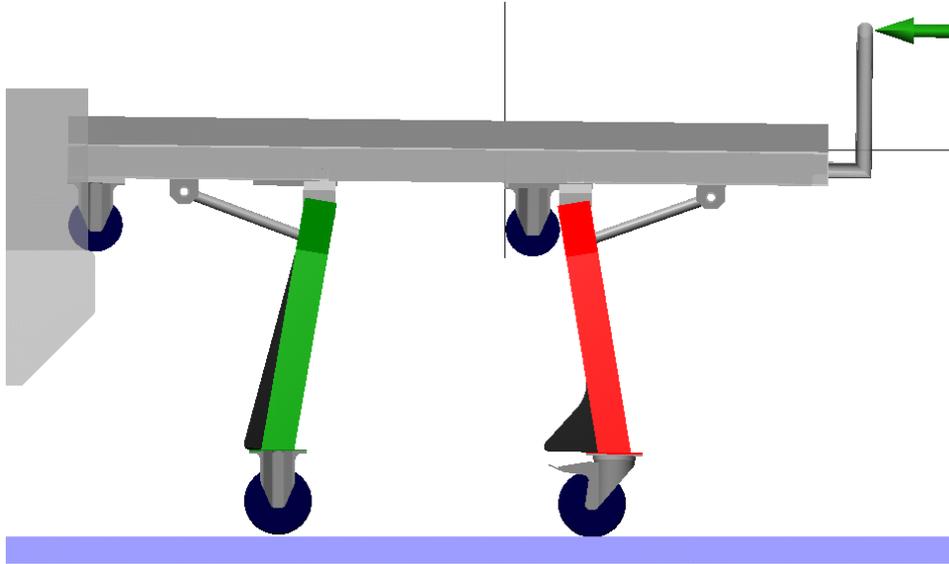


Fig.6.4 - Subida inicial do equipamento para o interior do veículo

O peso do equipamento, que estava a ser suportado pelas pernas dianteiras e traseiras, passou a ser suportado pelas rodas da frente da estrutura e pelas pernas traseiras.

O mecanismo de bloqueio das pernas dianteiras na posição aberta, foi previamente programado para se desbloquear e permitir o rebatimento destas (Fig.6.5).

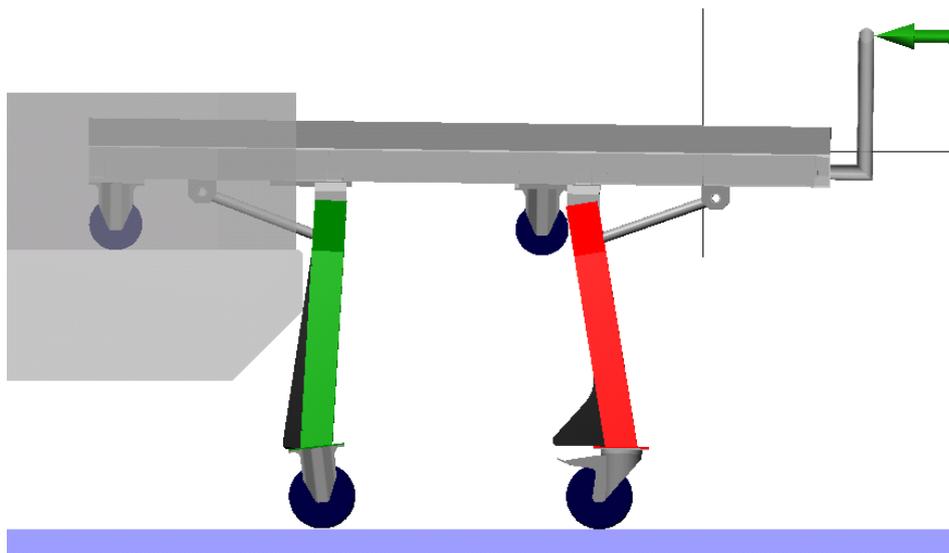


Fig.6.5 - Fase inicial de rebatimento das pernas dianteiras

A operação de introdução prossegue e as restantes rodas da estrutura sobem para o piso do furgão e interrompem o contacto entre as pernas traseiras e o solo. Todo o peso do equipamento é agora suportado pelo veículo (Fig.6.6). Consta-se que as pernas dianteiras rebateram completamente sem qualquer problema.

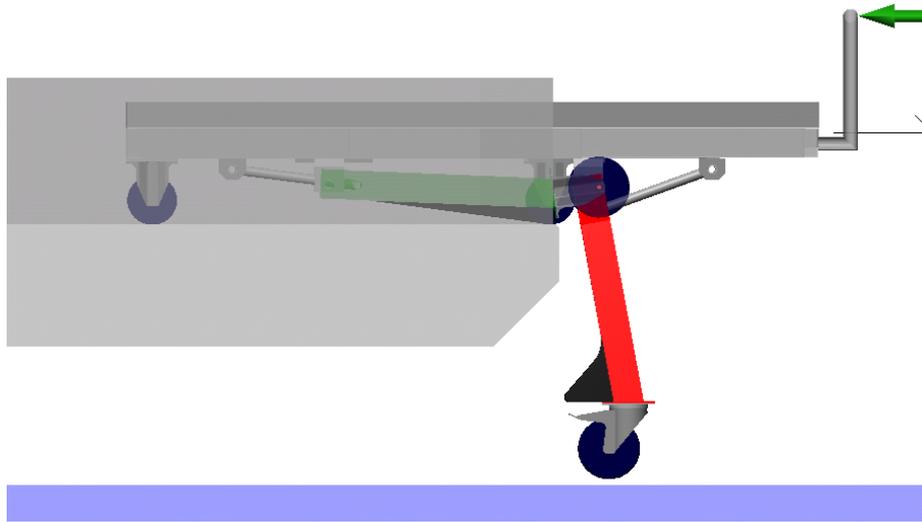


Fig.6.6 - Subida de todo o equipamento para dentro do furgão

À semelhança das pernas dianteiras, o mecanismo que bloqueia as pernas traseiras na posição aberta é libertado para permitir estas rebaterem (Fig.6.7).

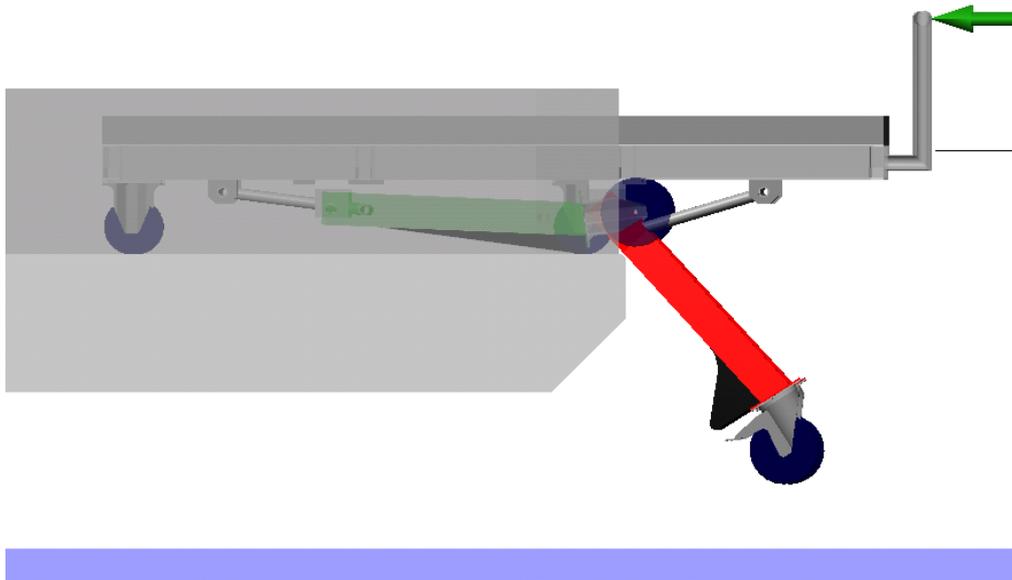


Fig.6.7 - Fase inicial de rebatimento das pernas traseiras

Quando o equipamento estava completamente acondicionado dentro da caixa de carga, parou-se a simulação (Fig.6.8). As pernas traseiras rebateram como se tinha previsto, sem qualquer ocorrência adversa.

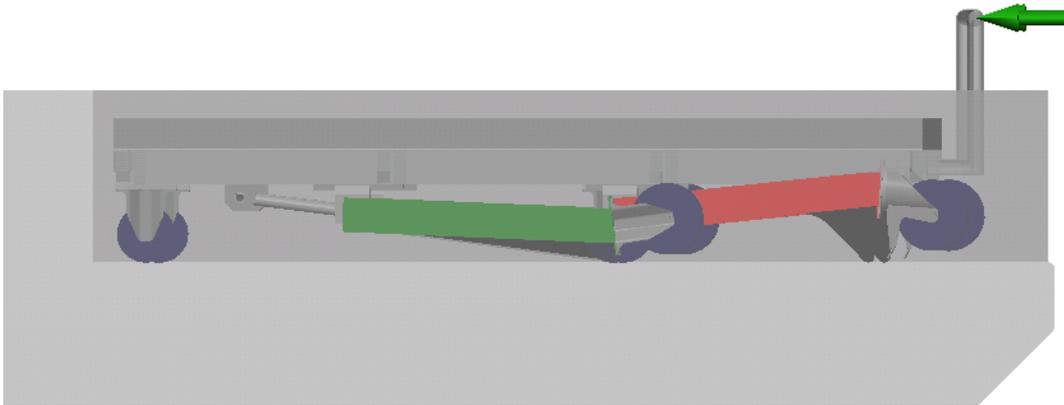


Fig.6.8 - Posição final da simulação de introdução

6.1.2. Extração

A simulação de introdução estando concluída, procedeu-se à simulação de extração do equipamento de dentro da furgoneta (Fig.6.9).

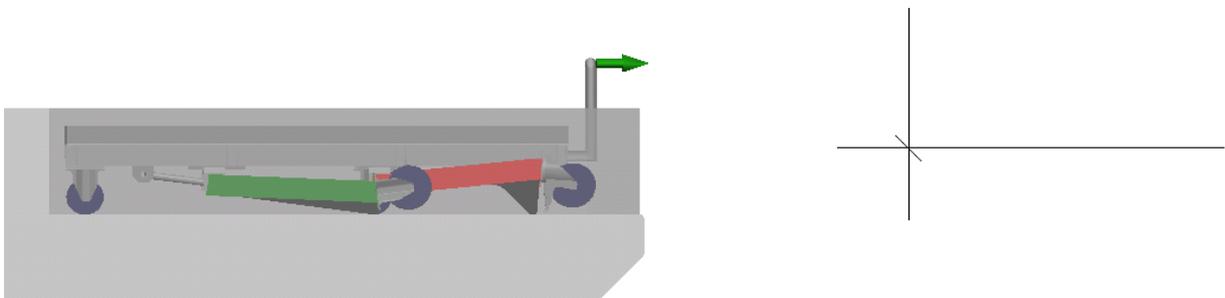


Fig.6.9 - Posição inicial da simulação de extração

Para simular o efeito das molas de torção que fornecem o esforço necessário para abrir as pernas automaticamente, aplicaram-se torques, nos sítios onde normalmente estariam as molas de torção. O valor dos torques são os mínimos necessários para permitir a abertura completa das pernas. Foram aplicados às pernas dianteiras e traseiras. De notar que, na simulação de introdução anteriormente realizada, os torques também estavam aplicados, para verificar com mais precisão que a força do operador era suficiente para ultrapassar todos os parâmetros adversos e conseguir carregar o equipamento no veículo.

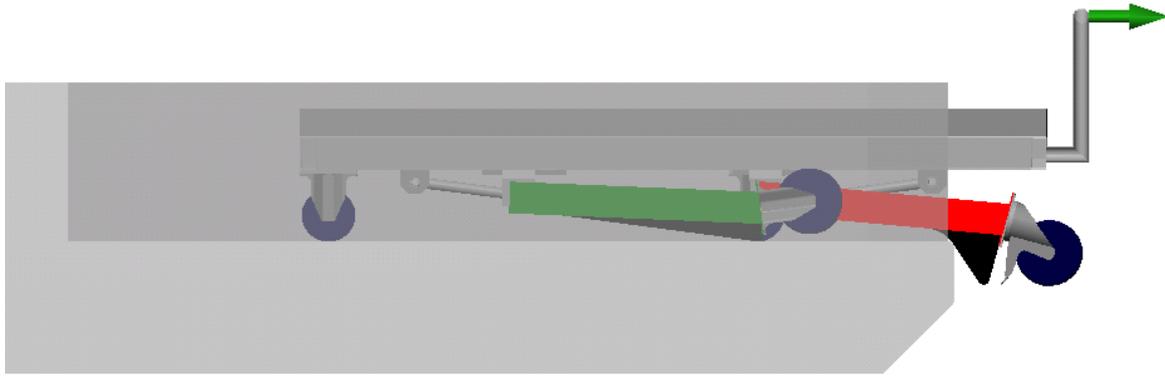


Fig.6.10 - Fase inicial de abertura das pernas dianteiras

O peso das pernas também ajuda o processo de abertura automática das pernas dianteiras e traseiras (Fig.6.10).

Depois de as pernas traseiras estarem completamente abertas (Fig.6.11), o mecanismo de bloqueio destas está programado para se ativar e manter as pernas em posição.

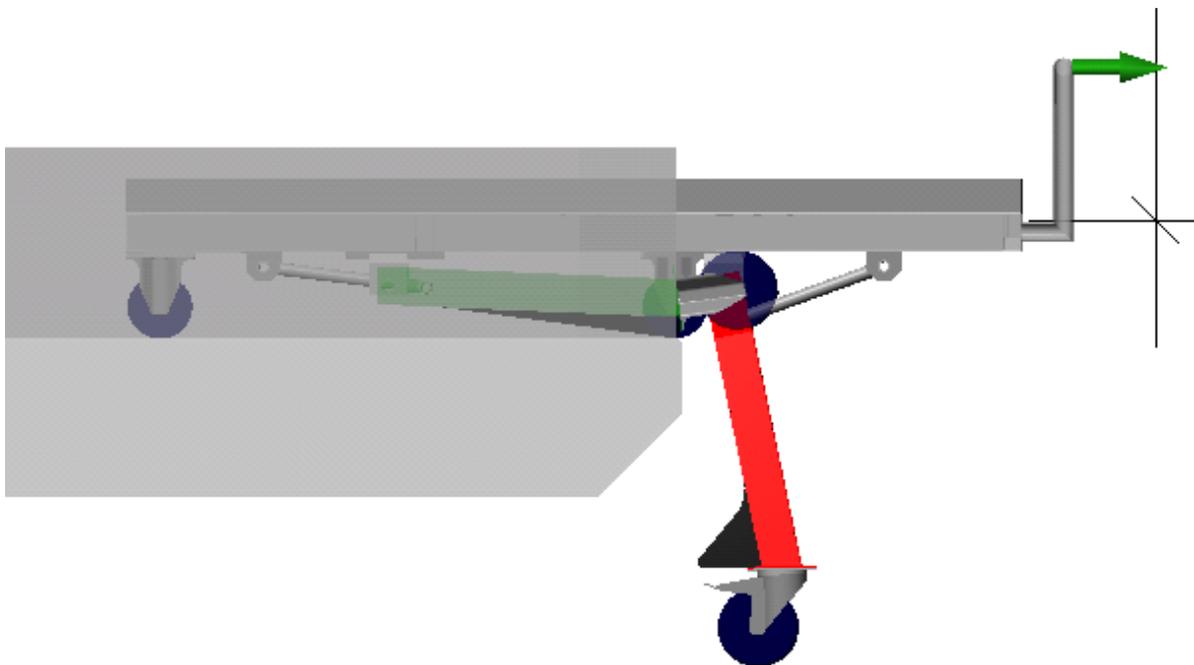


Fig.6.11 - Abertura completa das pernas traseiras na extração

O processo de extração continuando, as pernas traseiras passam a suportar parte do peso do equipamento quando as suas rodas entrem em contacto com o solo (Fig.6.12).

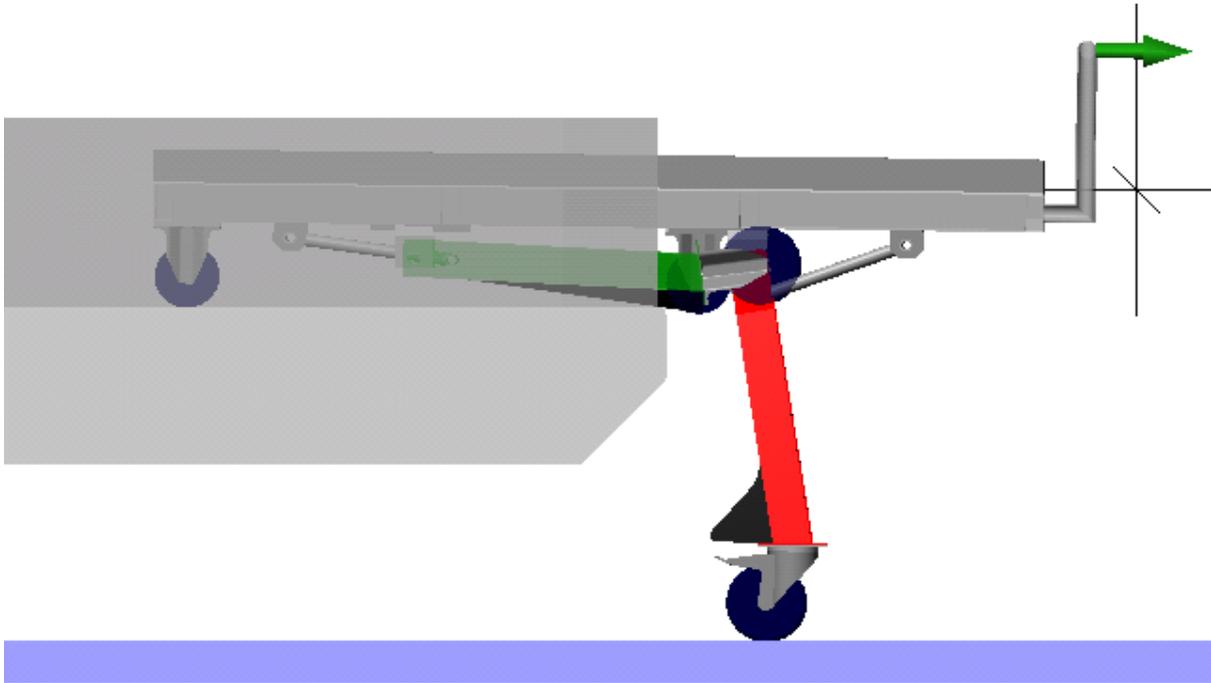


Fig.6.12 - Transferência parcial de carga para as pernas traseiras

À medida que o equipamento está a ser retirado e, tal como tinham feito as pernas traseiras, as pernas dianteiras iniciam o seu movimento de abertura (Fig.6.13).

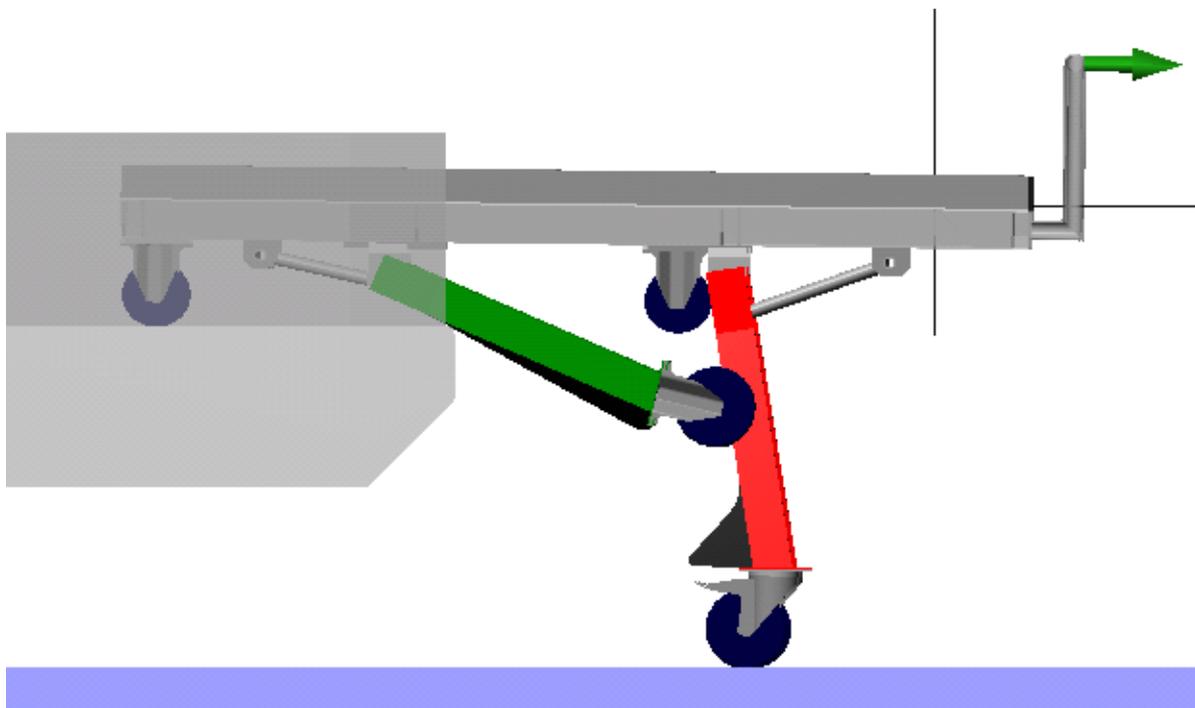


Fig.6.13 - Fase inicial de abertura das pernas dianteiras

Uma vez as pernas dianteiras completamente abertas (Fig.6.14), o seu mecanismo de bloqueio ativa-se para que mantenham a sua posição quando passarão a suportar a sua parte de carga.

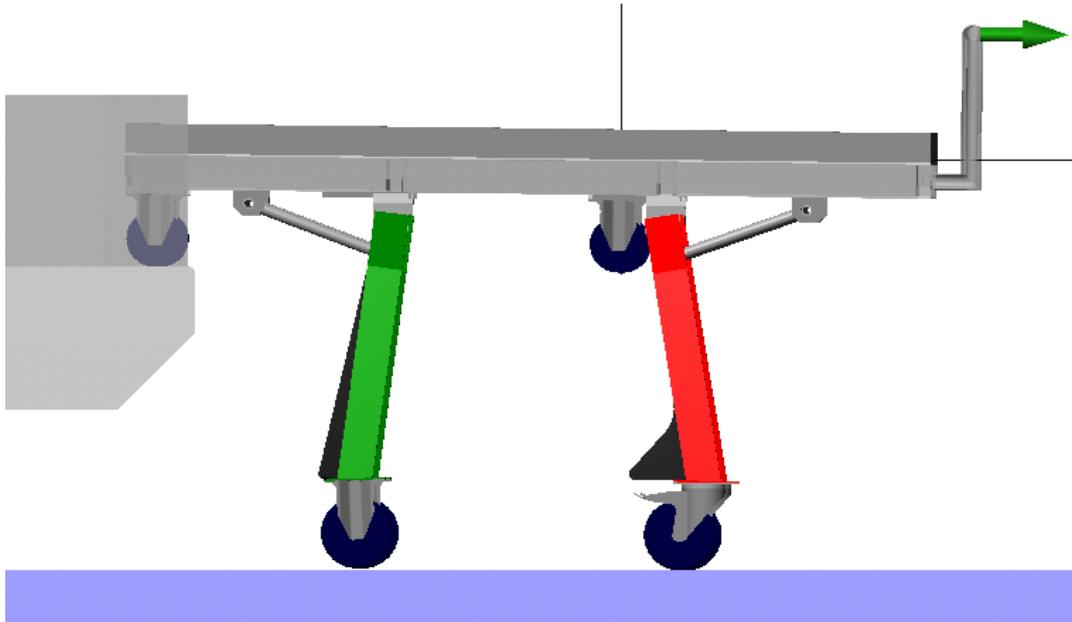


Fig.6.14 - Abertura completa das pernas dianteiras na extração

Convém realçar que o valor da folga que se projetou entre as rodas das pernas dianteiras e o solo, proporciona uma abertura automática sem entraves dessas pernas. Esse pormenor permite que um único operador, sem sair do seu posto de comando, possa facilmente descarregar o equipamento de um veículo comercial.

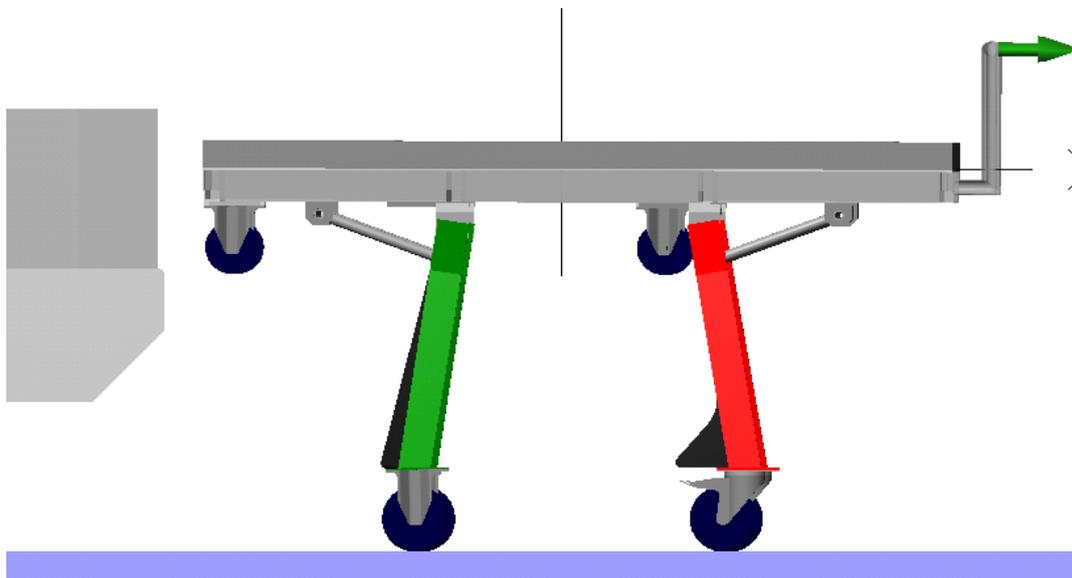


Fig.6.15 - Posição final da simulação de extração

Depois de o equipamento estar completamente apoiado sobre as suas pernas, fora do compartimento de carga, terminou-se a simulação (Fig.6.15). Não surgiram problemas nos movimentos das pernas, nem interferências entre componentes.

Pôde-se concluir que as simulações de inserção e extração foram bem-sucedidas.

6.2. ESFORÇOS

Chegou-se ao ponto crucial do projeto. Seja para escolher um componente *off-the-shelf* num catálogo, seja para dimensionar um componente através de uma análise de tensões, tem que se conhecer os esforços que atuam no componente. Como se trata de uma análise dinâmica, é necessário identificar o instante, durante o movimento, em que os esforços são máximos. Usaram-se as simulações de introdução e extração do equipamento, previamente realizadas em *MSC.visualNastran 4D*. De modo a conhecer as cargas a que cada componente estava sujeito, colocaram-se medidores de forças em todas as ligações do equipamento. Com os medidores de forças, identificaram-se, para todos os componentes, as fases críticas para o movimento de inserção do equipamento, as fases críticas para o movimento de extração, e organizou-se a informação sob a forma de tabelas (ver *Anexo D*).

Para os componentes que são usados em mais do que um exemplar no equipamento, considerou-se somente aquele que estava sujeito aos maiores esforços.

Após análise dos dados dos esforços máximos de inserção (Tab.D.1) e de extração (Tab.D.2), cruzaram-se os dados e compilou-se uma tabela com os esforços máximos absolutos que atuam, sobre cada componente, em determinados instantes dos movimentos de inserção e extração (Tab.D.3).

6.3. ANÁLISE DE TENSÕES

Desejava-se agora dimensionar, à resistência, os componentes que não podem ser selecionados em catálogos, isto é, a estrutura (e o timão), a mesa, as pernas e as barras pivotantes.

Usou-se o trabalho anteriormente realizado para identificar as fases críticas e os esforços máximos. Realizaram-se as análises de tensões, em *MSC.visualNastran 4D*, para os instantes em que os esforços sobre os componentes são máximos. As análises de tensões vão permitir identificar os pontos críticos e as tensões máximas em cada componente (ver *Anexo E*).

O programa usou o método dos elementos finitos para calcular as tensões na estrutura (Fig.E.1, E.2 e E.3), nas barras pivotantes (Fig.E.4, E.5, E.6 e E.7) e nas pernas (Fig.E.8, E.9, E.10 e E.11). Usou-se o critério de cedência de *Von Mises* para a nossa análise.

Já que se está confiante relativamente à precisão dos valores dos esforços, estima-se que se usará um fator de segurança de cerca de 1,25 para o dimensionamento.

7. CONCLUSÕES

Infelizmente, não foi possível, dentro do período estabelecido, levar o projeto até à fase de dimensionamento. Mas, como se conhecem os instantes em que esforços são máximos, e as características desses mesmos esforços, que atuam sobre os componentes, têm-se disponíveis os principais dados para poder finalizar a concepção mecânica do equipamento.

7.1. VALIDAÇÃO DOS REQUISITOS

Verificou-se se o equipamento cumpre os requisitos inicialmente estipulados (Tab.7.1).

Tab.7.1 - Verificações dos requisitos do equipamento

Requisitos	Observações
1) Suportar a carga, sem ser afetado, em condições normais de utilização	Os esforços que permitem dimensionar, são conhecidos
2) Ser rapidamente introduzido e retirado da caixa de carga de um furgão, apesar da altura do piso de carga	As simulações em <i>MSC.visualNastran 4D</i> confirmam o bom funcionamento
3) Ser manualmente movimentado fora do furgão	O equipamento está equipado de rodas para o efeito
4) Ocupar o menor volume possível, dentro do compartimento de carga do furgão	Antes do dimensionamento final, o equipamento retira somente 20 cm à altura da caixa de carga
5) Ter a menor massa possível	Antes do dimensionamento final, o equipamento pesava 37 kg
6) A mesa, durante as operações de carregamento/descarregamento, deverá manter-se nivelada	Existe um pequeno desnível desprezável aquando a inserção e extração no compartimento de carga
7) Possuir elementos que permitam a fixação da mercadoria à mesa	Existem soluções de argolas e correias que podem ser diretamente instaladas
8) Ser imobilizado dentro do compartimento de carga do furgão	Poderá ser implementado no futuro
9) Possuir uma zona, ou zonas, a partir das quais poderá ser dirigido	Timão para o operador
10) Sistema de imobilização quando está fora do veículo	As rodas têm travões
11) Ser ergonómico	O equipamento (timão, altura da mesa) foi projetado nesse sentido
12) Ser o mais barato possível	Otimizado para usar componentes <i>off-the-shelf</i> e perfis padrão

Os requisitos só poderão ser confirmados após o dimensionamento final, mas os dados atuais parecem promissores para obter um equipamento que cumpra todos os requisitos. Tentou-se sempre usar uma precisão máxima, em todos os processos, de modo a aproximar o mais possível, o esboço do equipamento, do seu estado final.

7.2. TRABALHOS FUTUROS

Teriam que se realizar as etapas seguintes para finalizar o projeto, e considerar o equipamento pronto a ser comercializado:

- Verificar a rigidez (deformações), da *Estrutura, Mesa, Pernas e Barras pivot*;
- Verificar o efeito de uma carga concentrada, devidamente posicionada sobre o equipamento;
- Verificar a estabilidade (eventual encurvadura) das *Barras pivot* e das *Pernas*;
- Projetar um sistema de fixação do equipamento ao veículo;
- Selecionar calhas de guiamento de perfil *standard* que serão instaladas no piso de carga para restringirem os movimentos do equipamento;
- Selecionar os componentes *off-the-shelf* tendo por base os esforços máximos;
- Dimensionar os restantes componentes de acordo com as tensões neles instalados;
- Realizar uma lista de peças e modelar em CAD a versão final do equipamento;
- Testar virtualmente o funcionamento da configuração final;
- Verificar se a massa final é aceitável;
- Verificar se o volume final que ocupa no furgão é aceitável;
- Avaliar o custo do equipamento;
- Realizar um estudo de ganhos decorrentes da utilização do equipamento;
- Proceder a uma pesquisa sobre o eventual interesse de potenciais clientes;
- Consoante o resultado da pesquisa de mercado, construir um protótipo;
- Escrever um manual de utilização do equipamento.

BIBLIOGRAFIA

- Becker, Jean-Paul - “Las Normas ISO 11228 en el Manejo Manual de Cargas”, 2008
- Cal/OSHA - “Ergonomic Guidelines for Manual Material Handling”, 2007
- Darcor - “The Ergonomics of Manual Material Handling”
- Ferreira da Silva, Luís - “Apontamentos Teóricos de Orgãos de Máquinas I”, 2004
- HSE - “Getting to Grips with Manual Handling”
- Marques Pinho, A.C. - “Apontamentos de Mecânica dos Materiais II”, 2002
- Marques Pinho, A.C. - “Apontamentos de Mecânica dos Materiais III”, 2006
- Marques Pinho, A.C. - “Apontamentos de Mecânica Estrutural”, 2005
- Nash, William - “Resistência dos Materiais”, 4ª edição, McGraw-Hill, 2001
- Silva, Filipe Samuel - “Apontamentos de Mecânica dos Materiais”
- WorkSafeNB - “Ergonomics Guidelines for Material Handling”, 2nd edition, 2010
- Página web de comerciais Citroën, www.citroen.pt/veiculos/comerciais - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Fiat, www.fiatprofessional.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Ford, www.ford.pt/automoveis-veiculos-comerciais-ligeiros - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Iveco, www.iveco.com - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Mercedes, www.mercedes-benz.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Nissan, www.nissan.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Opel, www.opel.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Peugeot, www.professional.peugeot.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Renault, www.renault.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Toyota, www.toyota.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de comerciais Volkswagen, www.comerciais.volkswagen.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de macas de ambulâncias, <http://ems.stryker.com> - acedida em 30-09-2013
- Página web de empilhadores, www.toyota-forklifts.com.pt - acedida em 30-09-2013
- Página web de paletes e porta-paletes, www.manutan.pt - acedida em 30-09-2013

Página web, catálogo de chapas de alumínio, www.franciscos Soares.pt - acedida em 30-09-2013

Página web, catálogo de perfis de alumínio, www.lumetalplastic.com - acedida em 30-09-2013

Página web, catálogo de guias lineares, chumaceiras, casquilhos, www.igus.pt - acedida em 30-09-2013

Página web, catálogo de guias lineares, rótulas, perfis, www.boschrexroth.com - acedida em 30-09-2013

Página web, catálogo de rodas, www.tente.pt - acedida em 30-09-2013

Página web de sistema de fixação de carga, www.hi-lift.com/slide-n-lock - acedida em 30-09-2013

ANEXO A - EQUIPAMENTOS ATUAIS DE TRANSPORTE

Tab.A.1 - Comparação de equipamentos de transporte

<i>Equipamentos</i>	<i>Funções</i>	<i>Inconvenientes</i>
 <p>Fig.A.1 - Porta-paletes</p>	<p>Permitem o transporte, horizontal, manual (ou mecanicamente assistido) de cargas elevadas (até ≈ 3000 kg)</p>	<p>Não conseguem elevar a carga para introduzi-la no compartimento</p>
 <p>Fig.A.2 - Empilhador</p>	<p>Transportam a mercadoria e podem elevá-la</p>	<p>Demasiado volumosos e pesados para serem transportados no furgão</p>
 <p>Fig.A.3 - Carrinho de mão</p>	<p>Basicamente; um porta-paletes mas que, em vez de transportar paletes, tem a mercadoria pousada diretamente em cima</p>	<p>Não conseguem elevar a carga para introduzi-la no veículo</p>
 <p>Fig.A.4 - Sistema para carregar aviões</p>	<p>Eleva a carga e desliza esta para dentro do avião</p>	<p>Demasiado volumosos e pesados para serem transportados no furgão</p>
 <p>Fig.A.5 - Maca para transporte de pacientes em ambulâncias</p>	<p>Permitem rapidamente carregar um doente no veículo</p>	<p>A massa que transportam é limitada porque uma parte do peso deve ser momentaneamente suportada pelo(s) operador(es)</p>

ANEXO B - LISTAGEM DE VEÍCULOS COMERCIAIS

Tab.B.1 - Especificações de veículos comerciais ligeiros

Marca	Modelo	Comprimento da Superfície de Carga [cm]	Distância entre Cavas das Rodas [cm]	Altura da Caixa de Carga [cm]	Altura do Piso de Carga ao Solo [cm]	Volume Útil de Carga [m³]	Carga Útil [kg]
Peugeot	Bipper	150	105	121	53	2,5	535
Fiat	Fiorino	152	105	121	53	3	610
Citroën	Nemo	152	105	121	53	3	610
Ford	Transit Connect (mín)	167	123	119	50	3	625
Fiat	Dobló (mín)	168	121	131	54	4	730
Peugeot	Partner (mín)	170	123	125	58	3,3	625
Peugeot	Partner (máx)	170	123	125	61	3,7	750
Opel	Combo (máx)	179	111	119	55	3	735
Opel	Combo (mín)	179	111	119	55	3	520
Citroën	Novo Berlingo (mín)	180	123	125	58	3	625
Citroën	Novo Berlingo (máx)	180	123	125	61	4	850
Ford	Transit Connect (máx)	183	123	136	60	4	900
Fiat	Dobló (máx)	206	121	155	54	4	850
Fiat	Scudo (mín)	225	125	144	49	5	1000
Citroën	Jumpy (mín)	225	125	145	49	5	1000
Opel	Vivaro (mín)	240	127	139	54	5	960
Ford	Transit Van (mín)	244	139	143	54	6	980
Fiat	Scudo (máx)	258	125	175	60	7	1200
Volkswagen	Crafter (mín)	260	98	165	67	7,5	950

Continua...

<i>Citroën</i>	<i>Jumpy</i> (<i>máx</i>)	262	125	175	60	7	1200
<i>Citroën</i>	<i>Jumper</i> (<i>mín</i>)	267	142	166	53	8	1075
<i>Fiat</i>	<i>Ducato</i> (<i>mín</i>)	267	142	166	54	8	1090
<i>Peugeot</i>	<i>Boxer</i> (<i>mín</i>)	267	142	166	54	8	1090
<i>Opel</i>	<i>Movano</i> (<i>mín</i>)	271	128	167	54	8	900
<i>Opel</i>	<i>Vivaro</i> (<i>máx</i>)	280	127	191	54	8	1210
<i>Opel</i>	<i>Movano</i> (<i>máx</i>)	371	128	215	54	14	1600
<i>Ford</i>	<i>Transit</i> <i>Van</i> (<i>máx</i>)	397	139	199	72	12	2380
<i>Fiat</i>	<i>Ducato</i> (<i>máx</i>)	407	142	217	56	17	1525
<i>Citroën</i>	<i>Jumper</i> (<i>máx</i>)	407	142	217	56	17	1450
<i>Peugeot</i>	<i>Boxer</i> (<i>máx</i>)	407	142	217	57	17	1525
<i>Volkswagen</i>	<i>Crafter</i> (<i>máx</i>)	470	135	214	78	17	2690

Nota: alguns modelos têm várias opções de tamanhos disponíveis. Para esses, somente se tomaram em conta as características mínimas e máximas das caixas de carga.

ANEXO C - CONSTITUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO

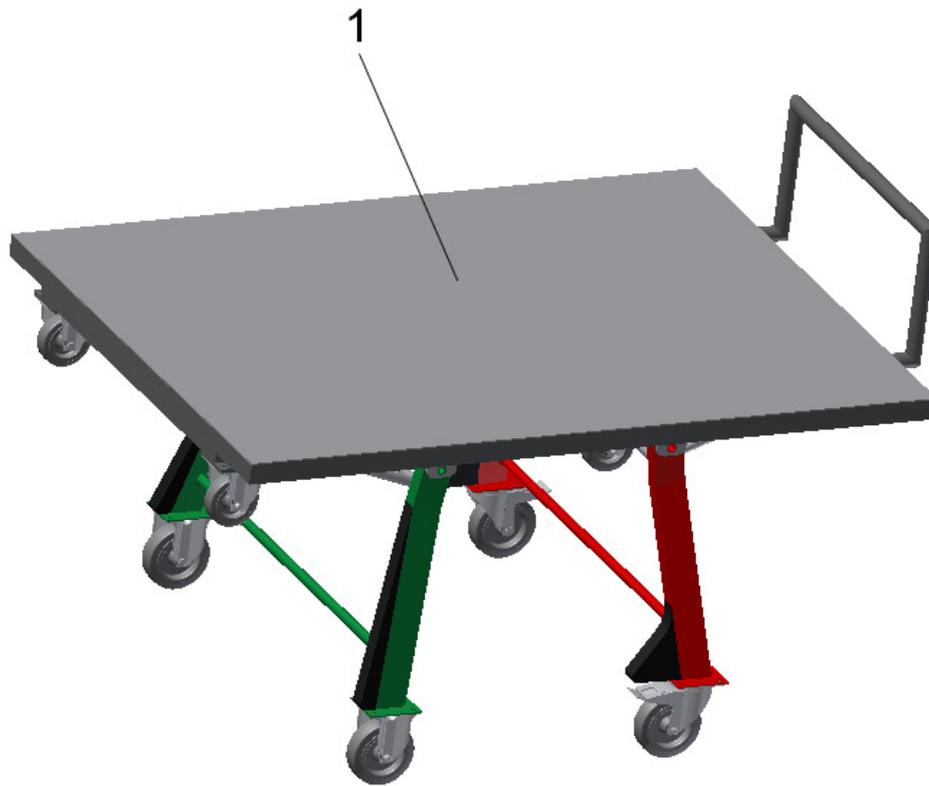


Fig.C.1 - Perspetiva superior do equipamento

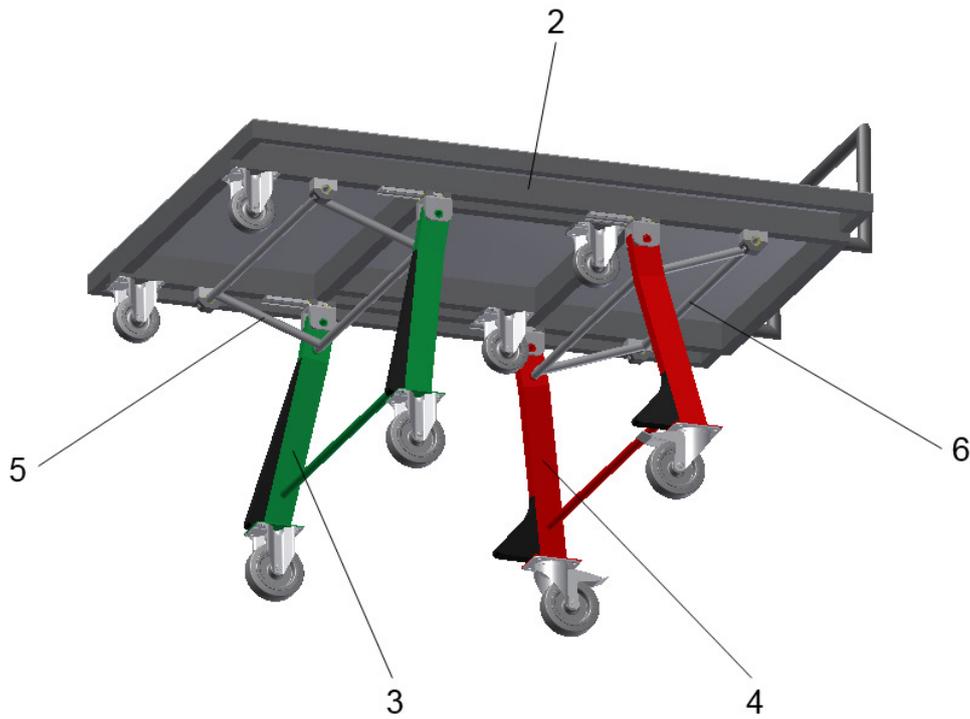


Fig.C.2 - Perspetiva inferior do equipamento

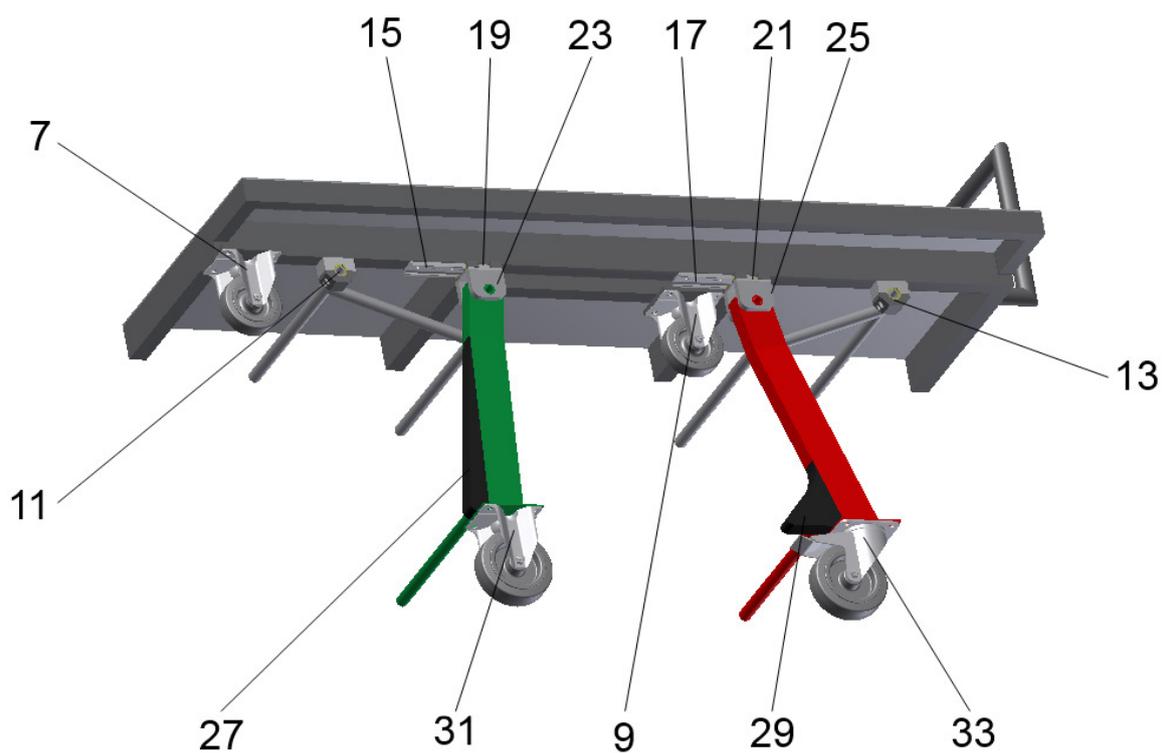


Fig.C.3 - Perspetiva esquerda cortada

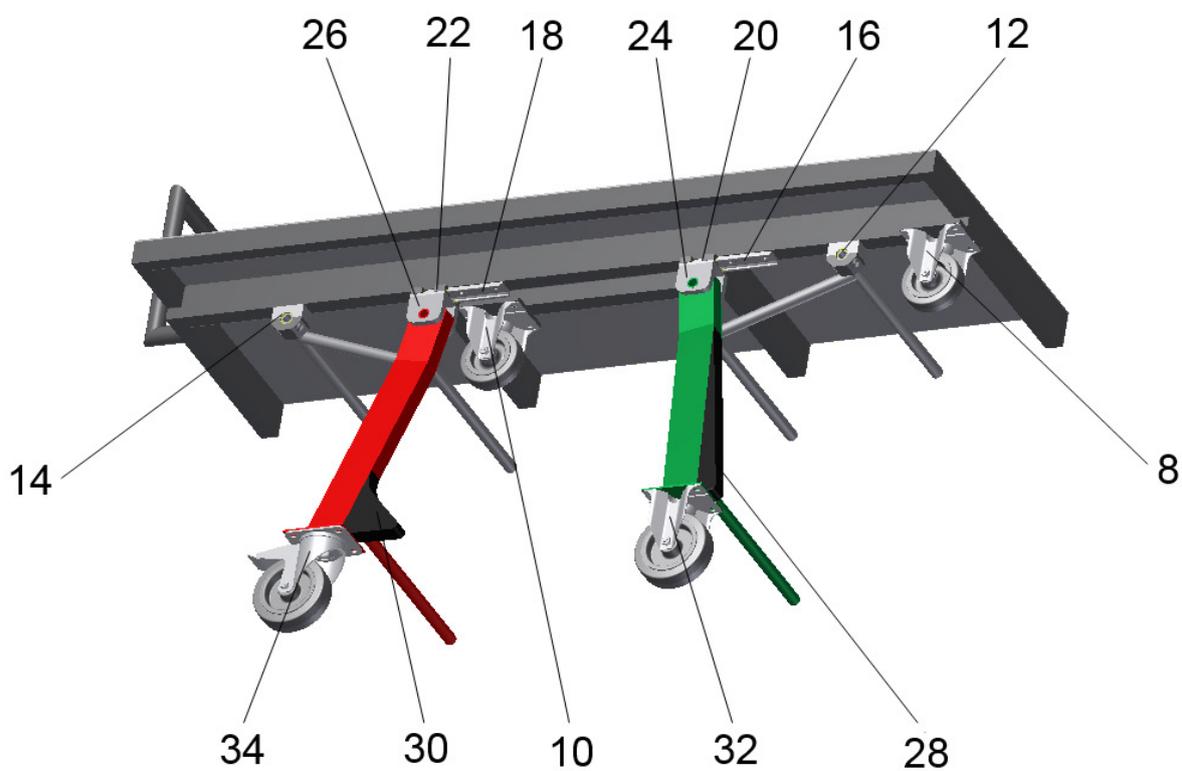


Fig.C.4 - Perspetiva direita cortada

Tab.C.1 - Lista de componentes e suas massas

	Nome	Massa [kg]
1	Mesa	11,63
2	Estrutura (com timão)	10,21
3	Pernas dianteiras	1,46
4	Pernas traseiras	1,46
5	Barras pivotantes dianteiras	0,85
6	Barras pivotantes traseiras	0,85
7	Roda estrutura dianteira esquerda	0,57
8	Roda estrutura dianteira direita	0,57
9	Roda estrutura traseira esquerda	0,57
10	Roda estrutura traseira direita	0,57
11	Chumaceira dianteira esquerda	0,14
12	Chumaceira dianteira direita	0,14
13	Chumaceira traseira esquerda	0,14
14	Chumaceira traseira direita	0,14
15	Guia dianteira esquerda	0,07
16	Guia dianteira direita	0,07
17	Guia traseira esquerda	0,07
18	Guia traseira direita	0,07
19	Patim dianteira esquerda	0,10
20	Patim dianteira direita	0,10
21	Patim traseira esquerda	0,10
22	Patim traseira direita	0,10
23	Apoio perna dianteira esquerda	0,20
24	Apoio perna dianteira direita	0,20
25	Apoio perna traseira esquerda	0,20
26	Apoio perna traseira direita	0,20
27	Proteção perna dianteira esquerda	0,55
28	Proteção perna dianteira direita	0,55
29	Proteção perna traseira esquerda	0,50
30	Proteção perna traseira direita	0,50
31	Roda perna dianteira esquerda	0,76
32	Roda perna dianteira direita	0,76
33	Roda perna traseira esquerda	1,23
34	Roda perna traseira direita	1,23
	Total	≈ 37

Os números da *Tabela C.1* referem-se aqueles indicados nas *Figuras C.1, C.2, C.3 e C.4*.

As massas são as que constam na simulação, no *software MSC.visualNastran 4D*.

Tab.C.2 - Lista e características das ligações

Ligações	Tipo de Ligação	Coefficiente de Atrito
1 - 2	Fixo	-
2 - 7	Fixo	-
2 - 8	Fixo	-
2 - 9	Fixo	-
2 - 10	Fixo	-
2 - 11	Fixo	-
2 - 12	Fixo	-
2 - 13	Fixo	-
2 - 14	Fixo	-
2 - 15	Fixo	-
2 - 16	Fixo	-
2 - 17	Fixo	-
2 - 18	Fixo	-
3 - 5 esquerda	Rotoide	*
3 - 5 direita	Rotoide	*
3 - 23	Rotoide	0,25
3 - 24	Rotoide	0,25
3 - 27	Fixo	-
3 - 28	Fixo	-
3 - 31	Fixo	-
3 - 32	Fixo	-
4 - 6 esquerda	Rotoide	*
4 - 6 direita	Rotoide	*
4 - 25	Rotoide	0,25
4 - 26	Rotoide	0,25
4 - 29	Fixo	-
4 - 30	Fixo	-
4 - 33	Fixo	-
4 - 34	Fixo	-
5 - 11	Rotoide	0,25
5 - 12	Rotoide	0,25
6 - 13	Rotoide	0,25
6 - 14	Rotoide	0,25
15 - 19	Translação	0,25
16 - 20	Translação	0,25
17 - 21	Translação	0,25
18 - 22	Translação	0,25
19 - 23	Fixo	-
20 - 24	Fixo	-
21 - 25	Fixo	-
22 - 26	Fixo	-

Os números das ligações da *Tabela C.2* referem-se aqueles indicados nas *Figuras C.1, C.2, C.3 e C.4* e na *Tabela C.1*.

* Para essas ligações, introduziu-se um valor do torque que simula as molas de torção.

Também se indicaram, no *MSC.visualNastran 4D*, os coeficientes de atrito entre o solo, o piso da caixa de carga e as rodas ($\mu_r=1$), e entre as pernas, as suas proteções de deslizamento, e a caixa de carga ($\mu_p=0,2$).

ANEXO D - ESFORÇOS SOBRE OS COMPONENTES

Tab.D.1 - Esforços máximos nos componentes, na inserção

Movimento	Componente	Instante [s]	Ligação	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	F [N]
Inserção	Estrutura	2,16	1 - 2	323	0	-5739	5748
			2 - 8	-15	0	1767	1767
			2 - 7	0	0	-6	6
			2 - 9	0	0	-6	6
			2 - 10	0	0	-6	6
			2 - 15	0	0	-1	1
			2 - 16	36	0	175	178
			2 - 17	-2158	0	3250	3901
			2 - 18	-8	0	0	8
			2 - 11	-3	0	-41	41
			2 - 12	26	0	-65	70
			2 - 13	2132	0	-280	2150
			2 - 14	0	0	1052	1052
			F _{i1}	-170	0	0	170
			F _{i2}	-170	0	0	170
	Mesa	2,16	A	-316	0	-5624	5633
			1 - 2	323	0	5739	5748
	Chumaceira	0,52	2 - 11	-3918	-1352	1	4145
			5 - 11	3918	1350	-1	4145
	Guia	0,52	2 - 15	0	996	3919	4044
			15 - 19	0	-997	-3919	4044
	Patim	0,52	19 - 23	0	-998	3919	4044
			15 - 19	0	997	-3919	4044
	Apoio perna	0,52	19 - 23	0	998	3919	4044
			3 - 23	0	-1000	-3919	4044
	Barras pivot	0,52	3 - 5d	750	-2595	0	2701
			3 - 5e	3217	2613	1	4145
			5 - 11	-3971	-10	0	3971
			5 - 12	0	0	-1	1
	Pernas	0,52	3 - 23	-1	-1654	3691	4044
			3 - 24	0	-506	-265	571
			3 - 5e	0	-695	-3909	3971
			3 - 5d	1	0	0	1
			3 - 31	0	-7	-2	7
			3 - 32	0	2887	492	2928
			3 - 27	0	-5	-1	5
	3 - 28	0	-5	-1	5		
	Roda perna dianteira	0,52	3 - 32	17	0	-2928	2928
	Roda perna traseira	0,52	4 - 33	0	-2979	2	2979
	Roda estrutura	4,14	2 - 9	-14	1	-3240	3240
	Prot. perna dianteira	4,14	3 - 28	13	71	-1	73
	Prot. perna traseira	4,14	4 - 30	126	26	0	129

Tab.D.2 - Esforços máximos nos componentes, na extração

Movimento	Componente	Instante [s]	Ligação	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	F [N]
Extração	Estrutura	2,88	1 - 2	-287	2	-5733	5741
			2 - 8	0	0	-6	6
			2 - 7	0	0	-6	6
			2 - 9	0	0	-6	6
			2 - 10	0	0	-6	6
			2 - 15	0	0	1365	1365
			2 - 16	3364	-1	-1	3364
			2 - 17	-1855	0	2567	3192
			2 - 18	-13	0	-1	13
			2 - 11	-12	0	1550	1550
			2 - 12	-3365	0	-324	3380
			2 - 13	1854	0	-2584	3180
			2 - 14	0	-1	3254	3254
			F _{i1}	160	0	0	160
			F _{i2}	160	0	0	160
	Mesa	2,88	A	281	-2	-5619	5626
	1 - 2		-287	2	5733	5741	
	Chumaceira	2,88	2 - 12	3365	-324	0	3380
			5 - 12	-3365	322	0	3380
	Guia	2,44	2 - 17	0	3565	-1988	4082
			17 - 21	0	-3566	0	3566
			B	0	0	1988	1988
	Patim	2,44	18 - 22	0	3566	0	3566
			22 - 26	0	-3567	-1988	4084
			B	0	0	1988	1988
	Apoio perna	2,44	21 - 25	0	3567	-1988	4084
			4 - 25	0	-3569	1988	4085
	Barras pivot	2,88	3 - 5d	3050	1457	0	3380
			3 - 5e	543	-1453	0	1551
			5 - 11	-3596	4	0	3596
			5 - 12	0	0	1	1
	Pernas	2,88	3 - 23	0	-1348	-233	1368
			3 - 24	-1	-577	3315	3364
			3 - 5e	0	-642	-3538	3596
			3 - 5d	-1	0	0	1
			3 - 31	1	2600	460	2640
			3 - 32	0	-7	-1	7
			3 - 27	0	-5	-1	5
			3 - 28	0	-5	-1	5
	Roda perna dianteira	2,88	3 - 31	-2	-1	-2640	2640
Roda perna traseira	2,88	4 - 34	-1	-2980	-18	2980	
Roda estrutura	1,10	2 - 9	16	0	-3071	3071	
Prot. perna dianteira	1,10	3 - 27	-19	75	0	78	
Prot. perna traseira	1,10	4 - 30	131	-1	0	131	

Tab.D.3 - Esforços máximos absolutos nos componentes

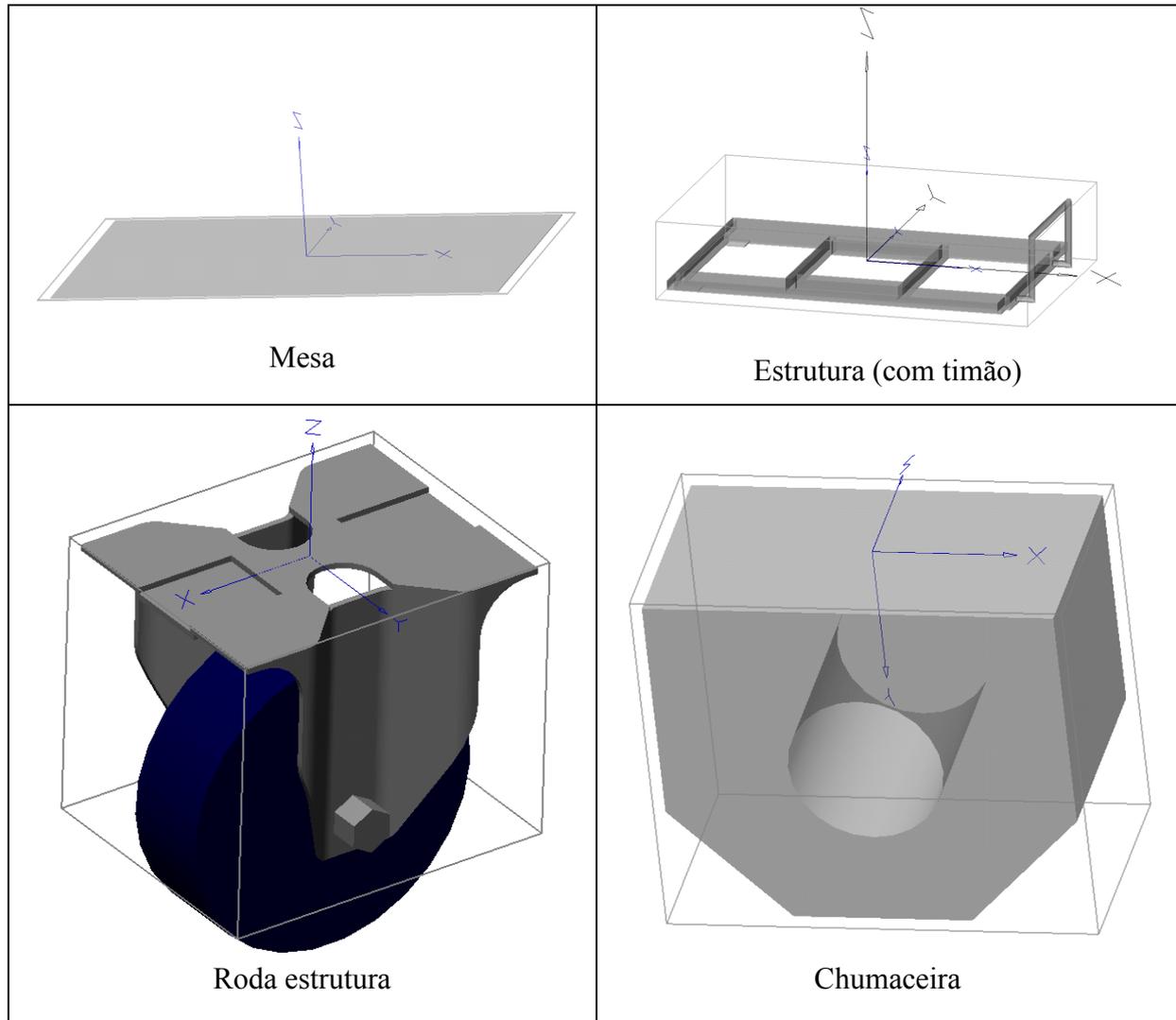
Movimento	Componente	Instante [s]	Ligação	F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	F [N]
Extração	Estrutura	2,88	1 - 2	-287	2	-5733	5741
			2 - 8	0	0	-6	6
			2 - 7	0	0	-6	6
			2 - 9	0	0	-6	6
			2 - 10	0	0	-6	6
			2 - 15	0	0	1365	1365
			2 - 16	3364	-1	-1	3364
			2 - 17	-1855	0	2567	3192
			2 - 18	-13	0	-1	13
			2 - 11	-12	0	1550	1550
			2 - 12	-3365	0	-324	3380
			2 - 13	1854	0	-2584	3180
			2 - 14	0	-1	3254	3254
			F _{i1}	160	0	0	160
F _{i2}	160	0	0	160			
Inserção	Mesa	2,16	A	-316	0	-5624	5633
	1 - 2		323	0	5739	5748	
	Chumaceira	0,52	2 - 11	-3918	-1352	1	4145
Extração	Guia	2,44	5 - 11	3918	1350	-1	4145
			2 - 17	0	3565	-1988	4082
			17 - 21	0	-3566	0	3566
	Patim	2,44	B	0	0	1988	1988
			18 - 22	0	3566	0	3566
			22 - 26	0	-3567	-1988	4084
			B	0	0	1988	1988
Apoio perna	2,44	21 - 25	0	3567	-1988	4084	
		4 - 25	0	-3569	1988	4085	
Inserção	Barras pivot	0,52	3 - 5d	750	-2595	0	2701
			3 - 5e	3217	2613	1	4145
			5 - 11	-3971	-10	0	3971
			5 - 12	0	0	-1	1
	Pernas	0,52	3 - 23	-1	-1654	3691	4044
			3 - 24	0	-506	-265	571
			3 - 5e	0	-695	-3909	3971
			3 - 5d	1	0	0	1
			3 - 31	0	-7	-2	7
			3 - 32	0	2887	492	2928
			3 - 27	0	-5	-1	5
	3 - 28	0	-5	-1	5		
Roda perna dianteira	0,52	3 - 32	17	0	-2928	2928	
Extração	Roda perna traseira	2,88	4 - 34	-1	-2980	-18	2980
Inserção	Roda estrutura	4,14	2 - 9	-14	1	-3240	3240
Extração	Prot. perna dianteira	1,10	3 - 27	-19	75	0	78
	Prot. perna traseira	1,10	4 - 30	131	-1	0	131

A - Ligação fixa entre a mesa e a carga.

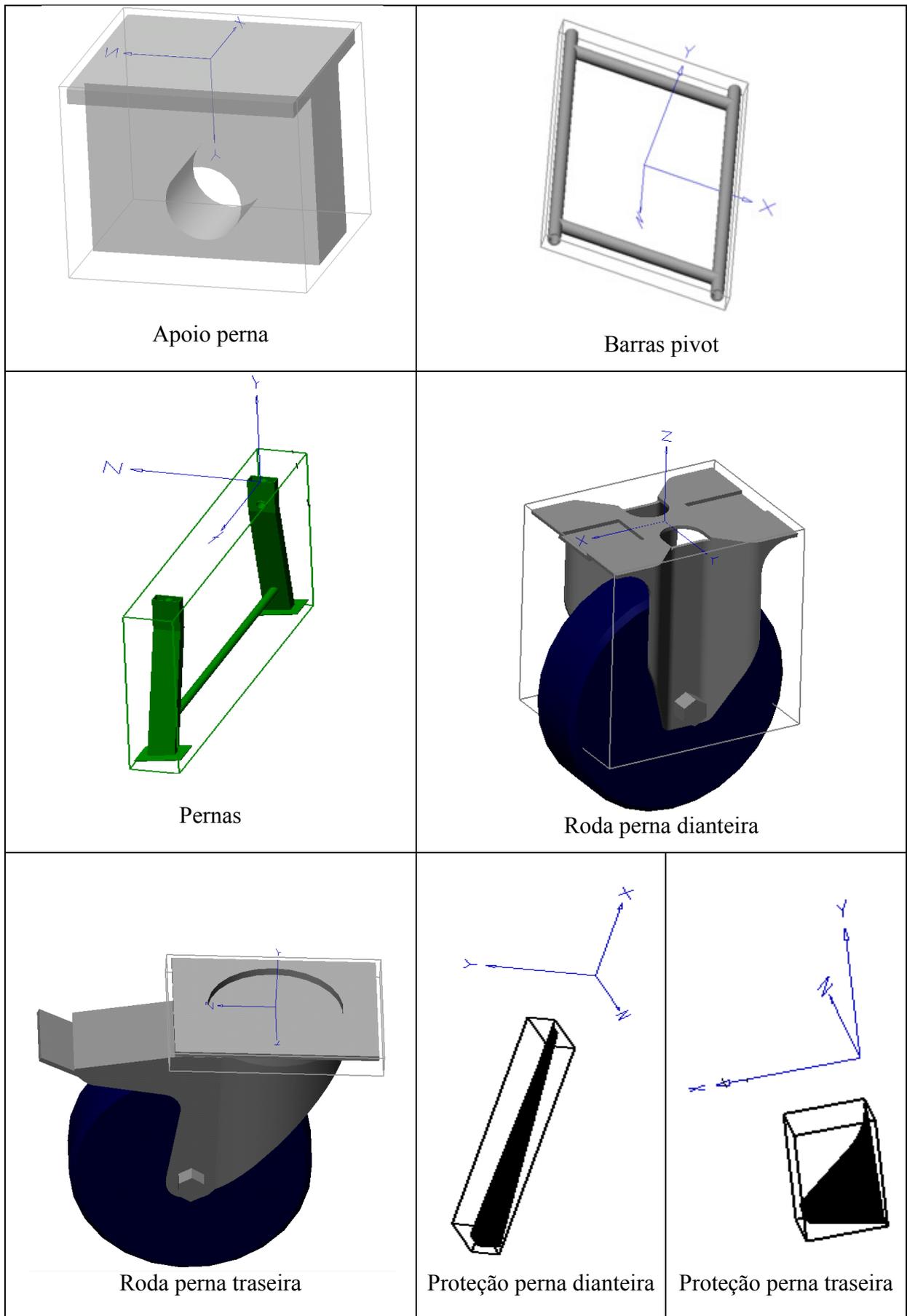
B - Ligação fixa entre as guias e os patins, que representa o mecanismo de bloqueio e liberação das pernas.

A direção e o sentido das forças nas *Tabela D.1*, *D.2* e *D.3* seguem o sistema de eixos de cada componente indicado na *Tabela D.4*.

Tab.D.4 - Sistemas de eixos de cada componente



Continua...



ANEXO E - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE TENSÕES

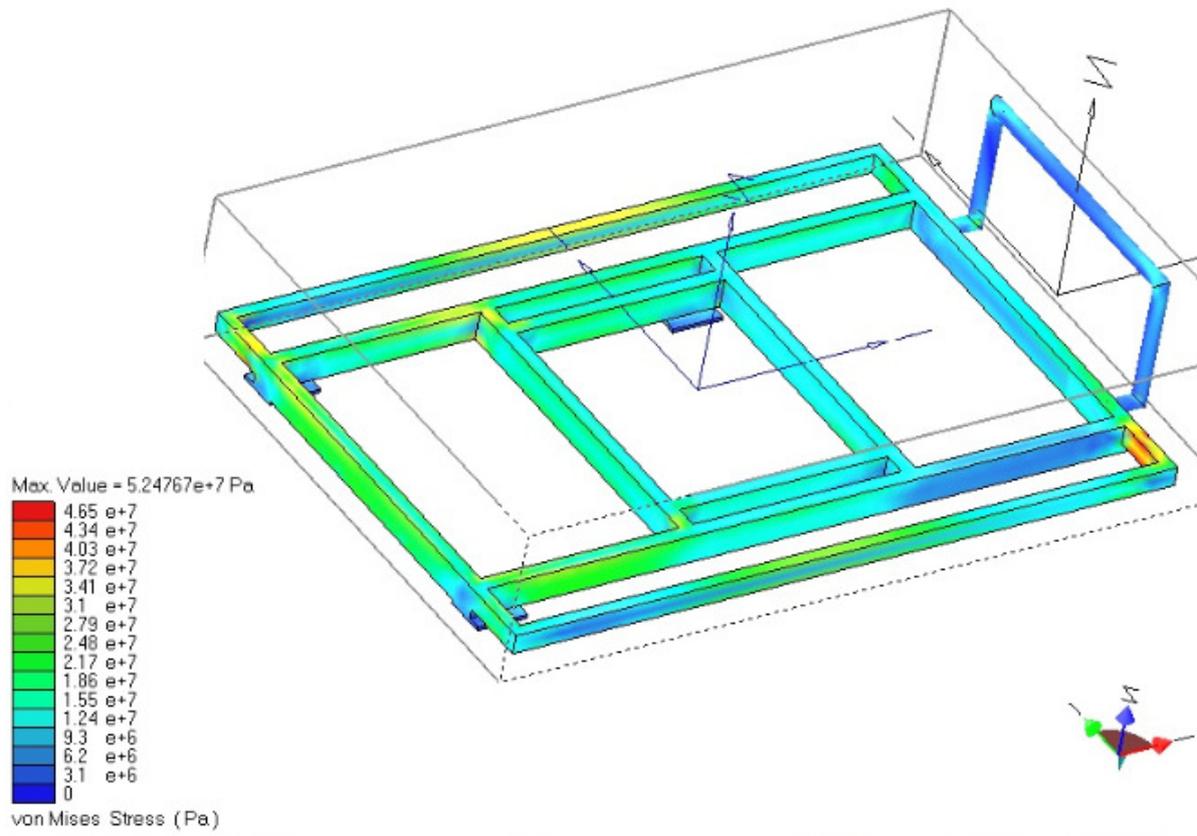


Fig.E.1 - Análise inicial de tensões da estrutura

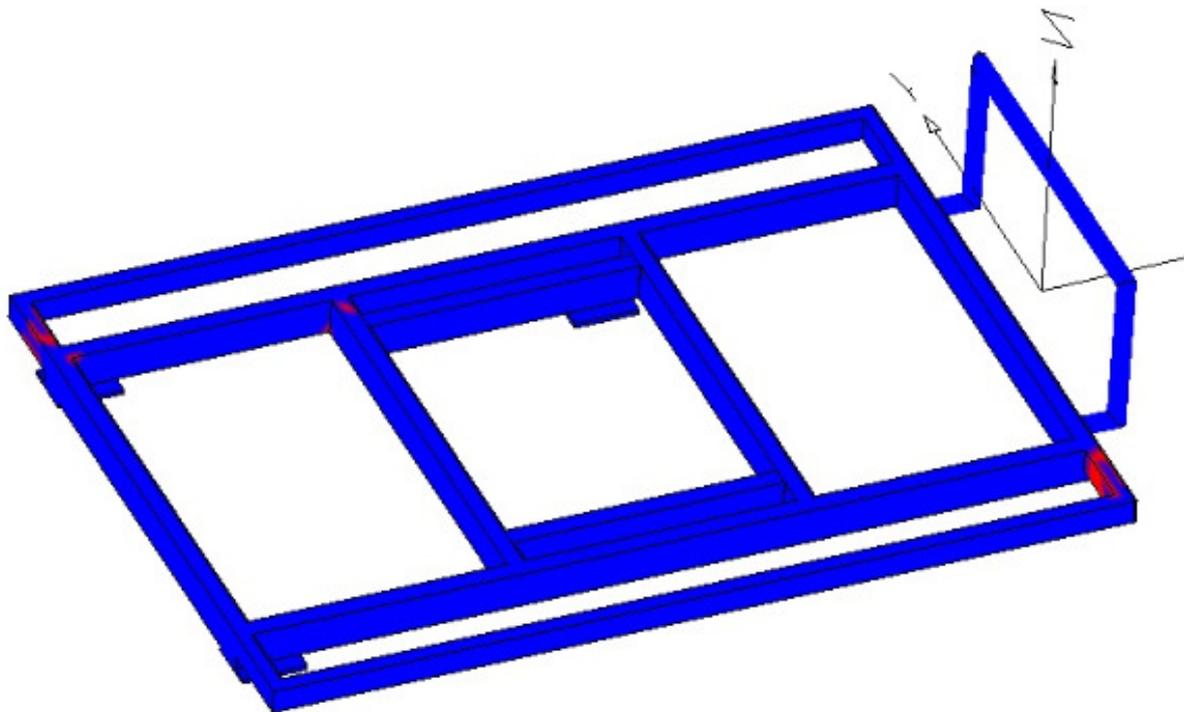


Fig.E.2 - Realce das zonas de maior tensão na estrutura

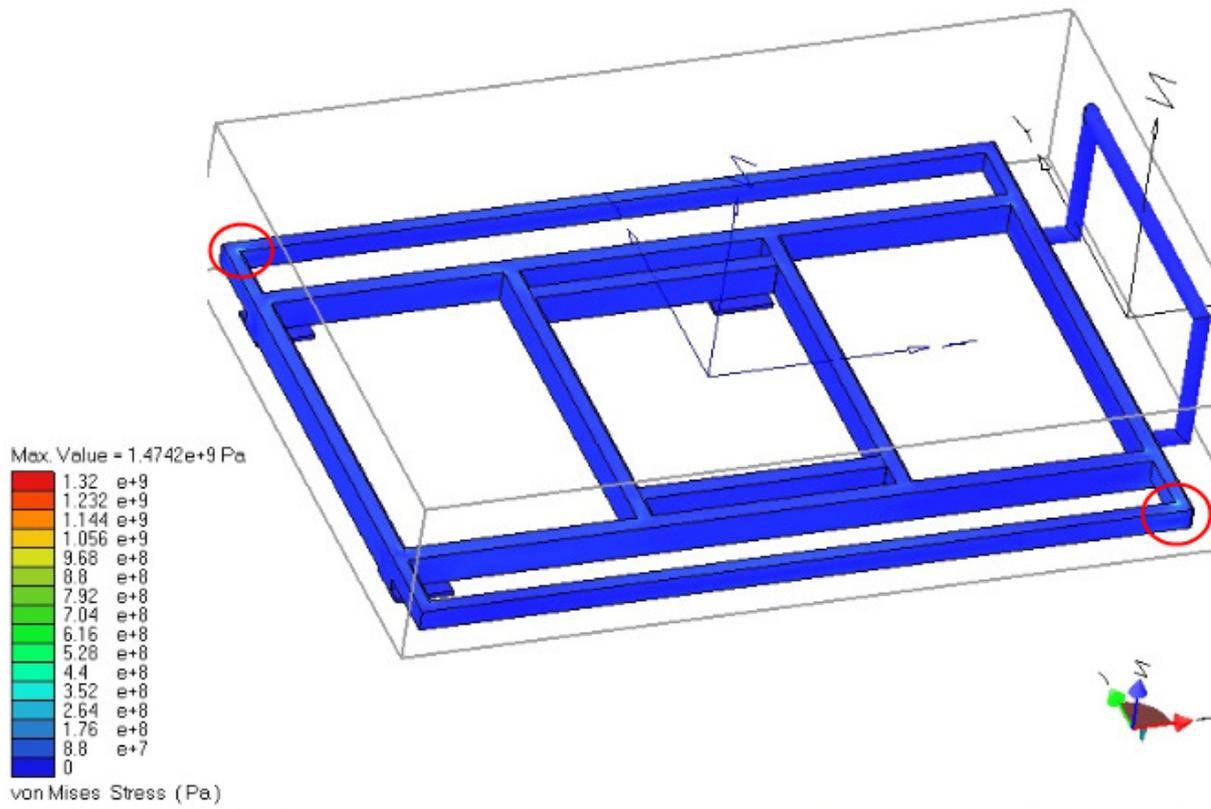


Fig.E.3 - Análise de tensões da estrutura com malha afinada

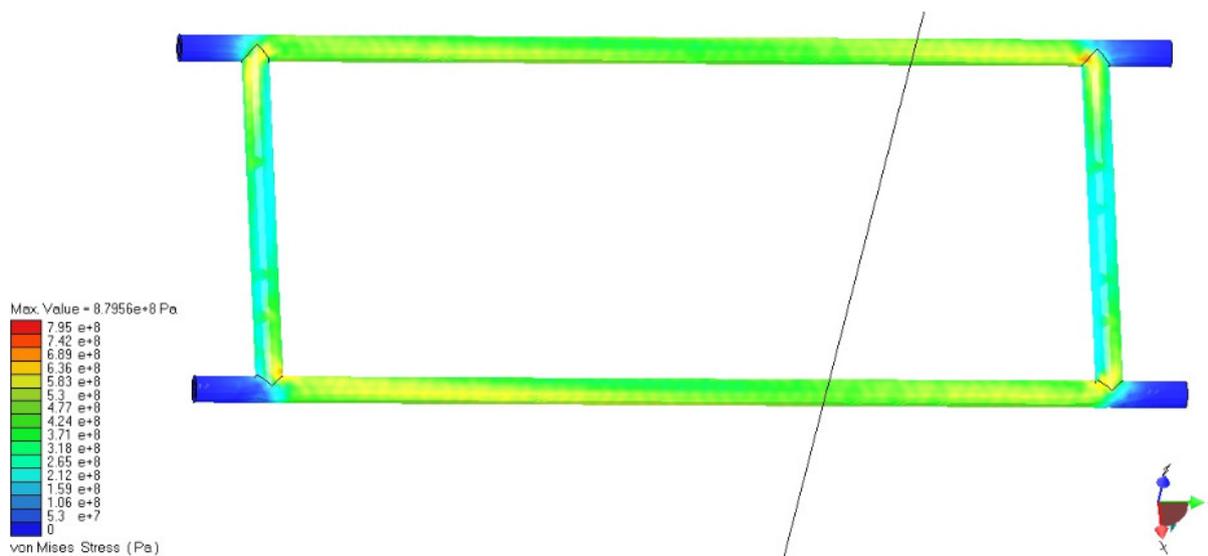


Fig.E.4 - Análise de tensões inicial das barras pivot

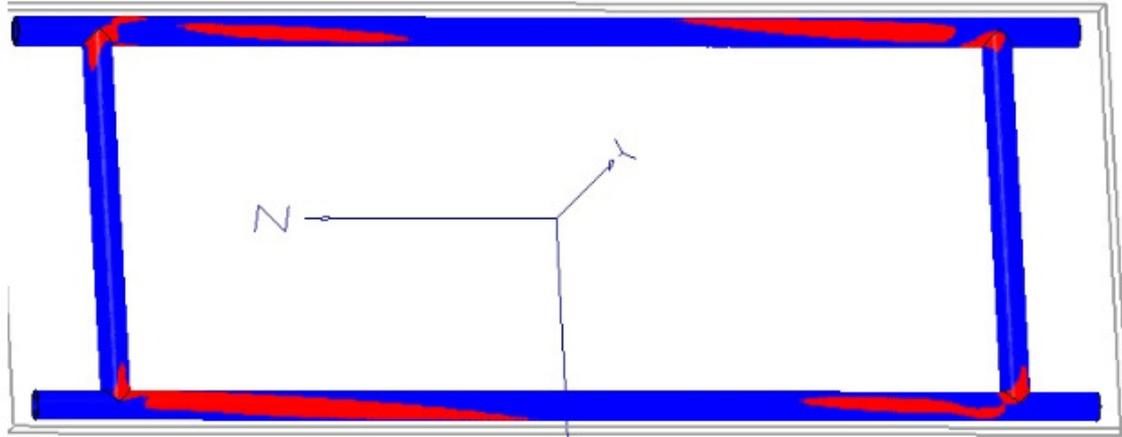


Fig.E.5 - Realce das zonas de maior tensão nas barras pivot

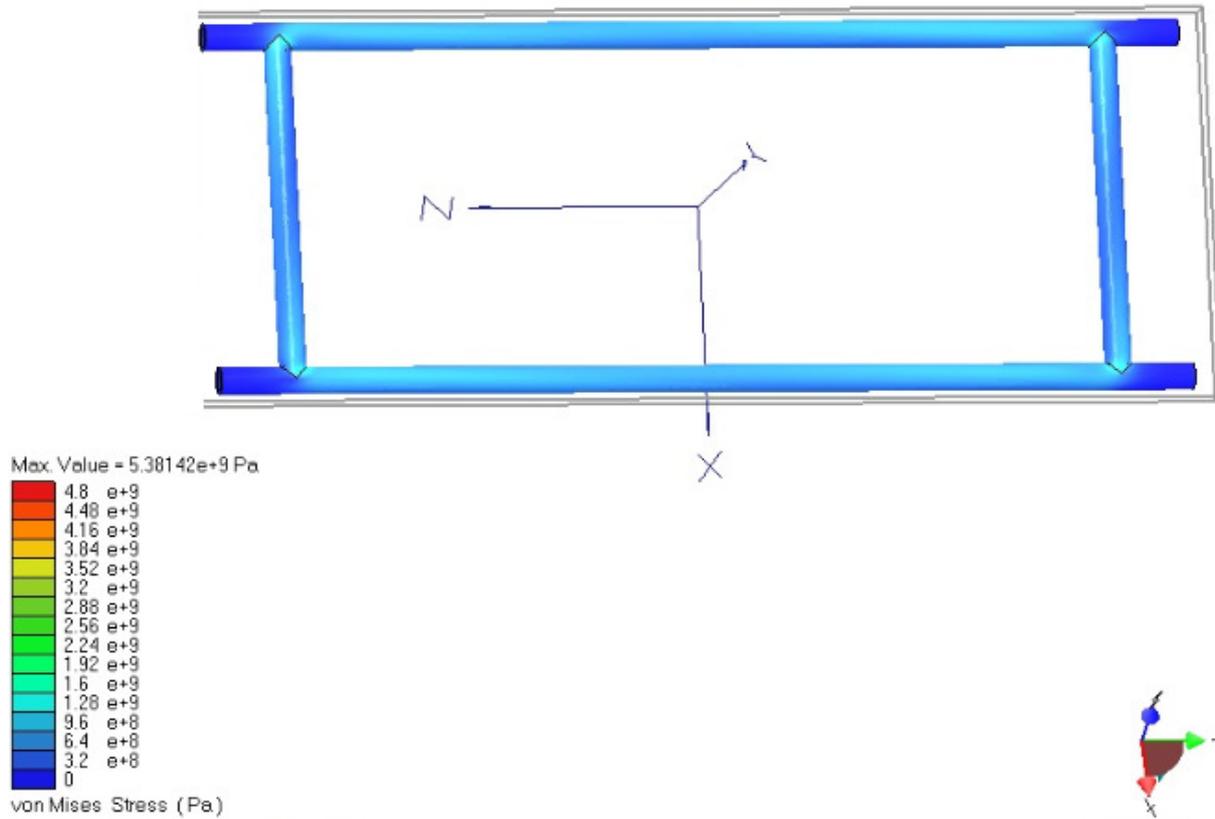


Fig.E.6 - Análise de tensões das barras pivot com malha afinada

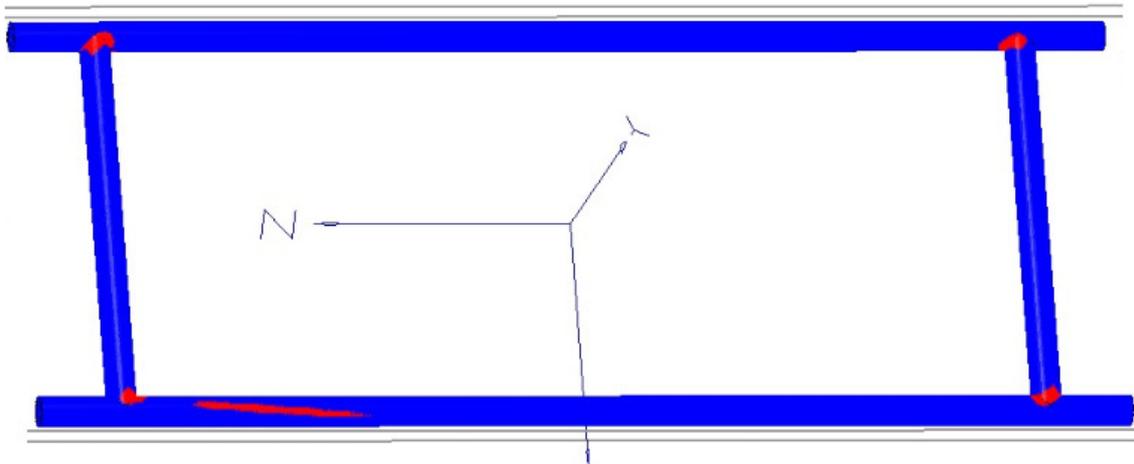


Fig.E.7 - Realce das zonas de maior tensão nas barras pivot com malha afinada

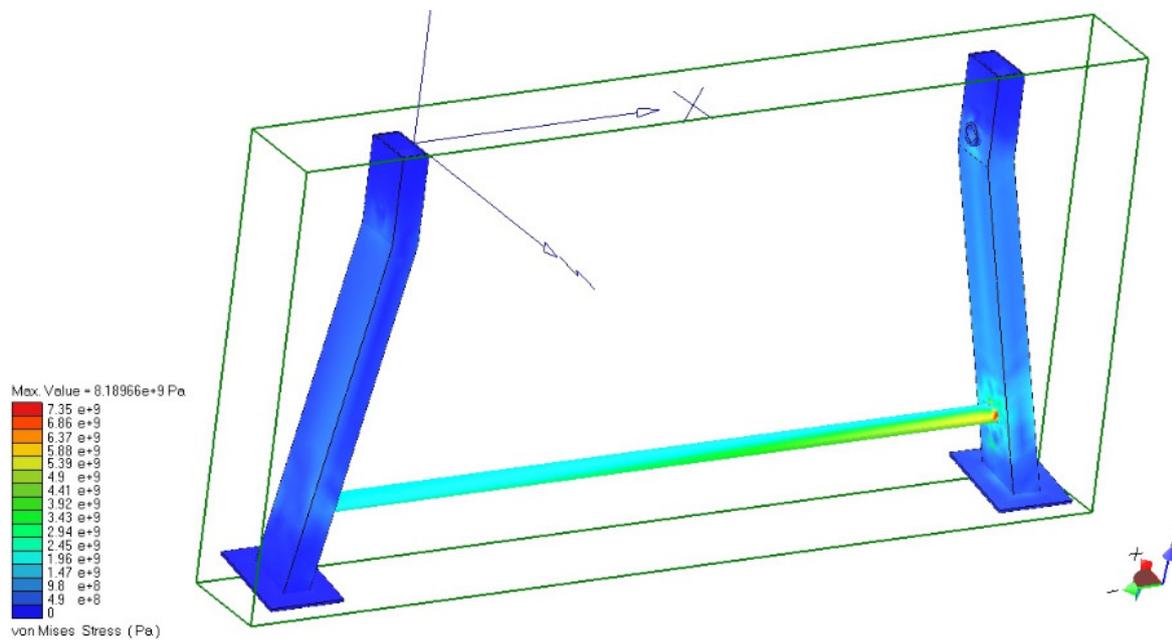


Fig.E.8 - Análise de tensões inicial nas pernas

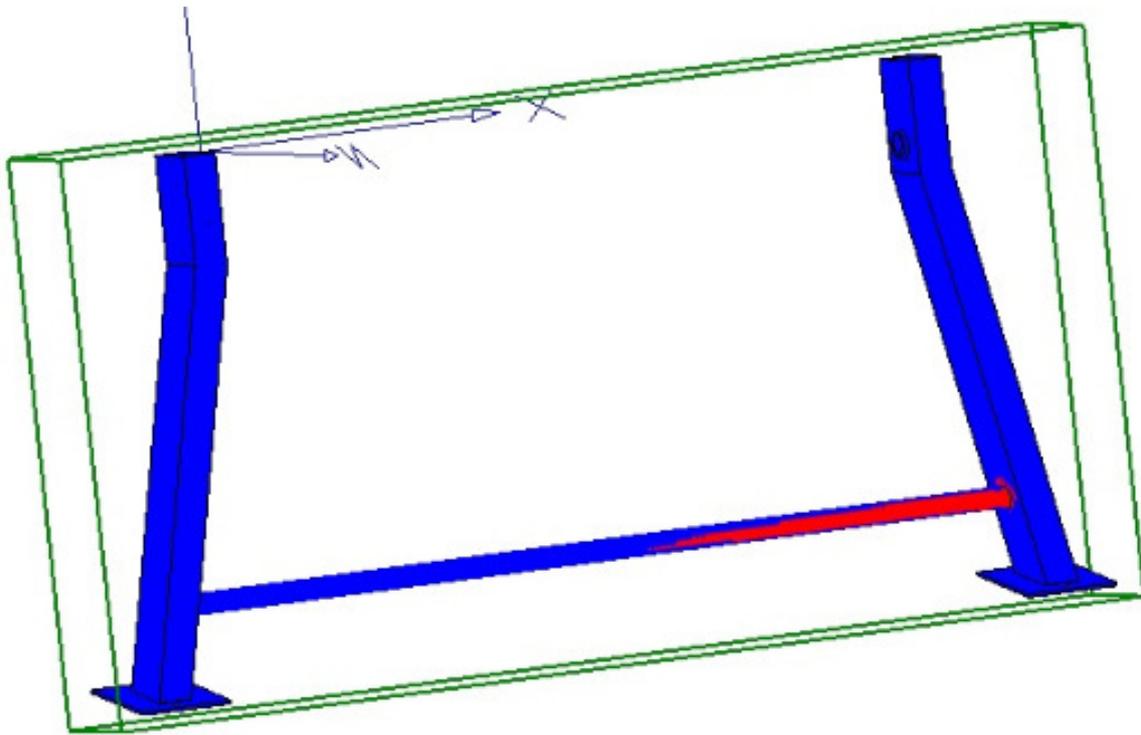


Fig.E.9 - Realce das zonas de maior tensão nas pernas

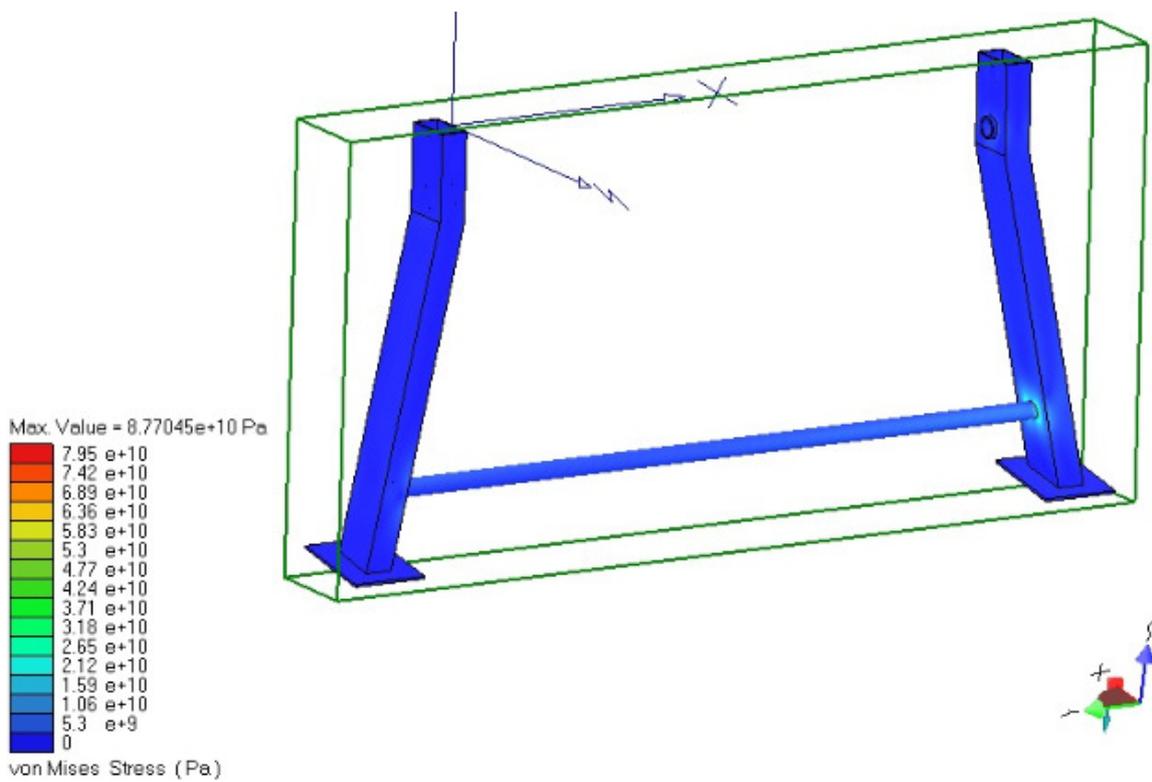


Fig.E.10 - Análise de tensões nas pernas com malha afinada

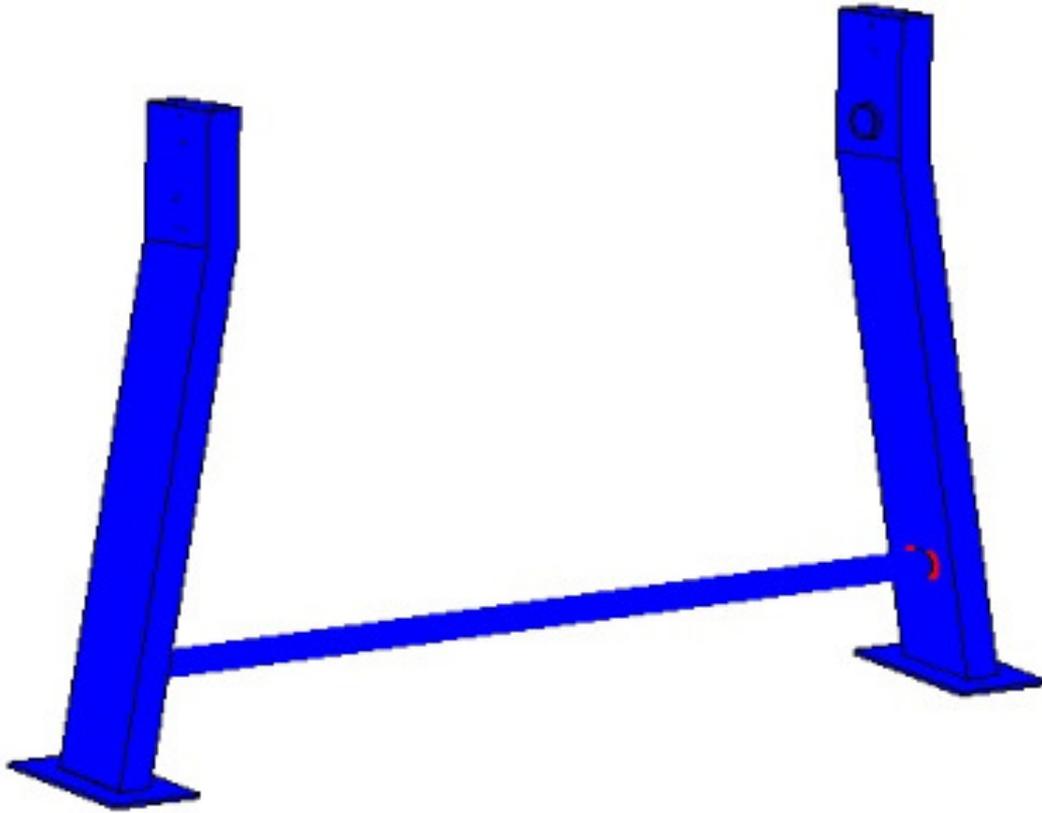


Fig.E.11 - Realce das zonas de maior tensão nas pernas com malha afinada