

SISTEMAS DE APOIO À MANOBRABILIDADE DE REBOQUES AGRÍCOLAS E À REDUÇÃO DA COMPACTAÇÃO EM TERRENOS AGRÍCOLAS

JOÃO MANUEL CARVALHO VIEIRA

julho de 2025

**SISTEMAS DE APOIO À MANOBRABILIDADE DE
REBOQUES AGRÍCOLAS E À REDUÇÃO DA
COMPACTAÇÃO EM TERRENOS AGRÍCOLAS**

João Manuel Carvalho Vieira

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica,
Área de Especialização em Materiais e Tecnologias de Fabrico**

Orientador: Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Coorientador: Francisco José Gomes da Silva

Júri:

Presidente:

António Gonçalves Magalhães

Vogais:

José Joaquim da Mota Machado

Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Porto, Junho 2025

Agradecimentos

A todos os docentes que contribuíram para a minha formação pessoal e académica ao longo destes dois anos de Mestrado.

À Herculano – Alfaias Agrícolas, S.A., pela afável integração na empresa, oportunidade de aprendizagem e ambiente de trabalho que me proporcionou.

Ao Dr. Daniel Matías, um agradecimento muito especial, pelo acolhimento, orientação e inteira disponibilidade.

Aos colaboradores do Departamento de Investigação e Inovação por me terem recebido no seu espaço e por todos os momentos de aprendizagem.

Ao Professor Doutor Raul Campilho pelas valiosas contribuições para a elaboração desta dissertação, que muito aprimoraram o meu trabalho. Pela experiência e sabedoria que partilhou comigo. Pela inteira disponibilidade, paciência e alento.

À minha família, que está sempre do meu lado.

Resumo

Desde a introdução da primeira maquinaria, a agricultura tem estado em constante desenvolvimento. Na era atual da tecnologia, a Herculano assume-se como empresa líder na indústria de equipamentos agrícolas em Portugal, tendo como produtos em destaque as cisternas e reboques agrícolas. Neste âmbito surge a presente dissertação, cujo objetivo se prendeu com a implementação de duas novas tecnologias: um sistema de apoio à manobrabilidade de veículos de grandes dimensões e um sistema de controlo da pressão dos pneus. O primeiro sistema tem o intuito de auxiliar a movimentação de reboques e cisternas agrícolas em espaços de manobra reduzidos, enquanto o segundo pretende combater a compactação dos solos agrícolas causada pelas rodas dos veículos. A metodologia utilizada neste trabalho foi a *Design Science Research* (DSR). Esta serviu de base ao processo de implementação das duas novas tecnologias, tendo sido seguidas as suas etapas. Ambos os projetos requereram uma fase inicial de estudo e planeamento sobre o seu funcionamento e aplicação nas cisternas Herculano. De seguida, procedeu-se à aplicação destas tecnologias em duas cisternas diferentes, uma de 22000 l e outra de 24000 l, tendo-se validado o seu correto funcionamento. A instalação decorreu de forma bem-sucedida e como planeada. A implementação destas tecnologias representou um passo importante na inovação dos produtos Herculano e constitui uma mais-valia para os agricultores que as utilizam. Os sistemas encontram-se agora disponíveis como opcionais na gama de cisternas e reboques da empresa.

Palavras-chave: Agricultura, Tecnologia agrícola, Cisterna agrícola, Manobrabilidade de veículos, Compactação do solo.

Abstract

Since the introduction of the first machinery, agriculture has been in constant development. In today's age of technology, Herculano is the leading company in the agricultural equipment industry in Portugal, with its main products being slurry tankers and agricultural trailers. The aim of this dissertation was to implement two new technologies: a maneuverability support system for large dimension vehicles and a tire pressure control system. The first system is intended to help move trailers and slurry tankers in tight maneuvering spaces, while the second aims to reduce the compaction of agricultural soils caused by vehicle wheels. The methodology used in this work was the Design Science Research (DSR). It served as the basis for the process of implementing the two new technologies, by following its stages. Both projects required an initial study and planning phase on how they would work and how they would be applied to the Herculano vehicles. These technologies were applied in two different slurry tankers, one with capacity for 22000 l and another with 24000 l and their correct operation was validated. The installation took place successfully and as planned. The implementation of these technologies represented an important step in the innovation of Herculano's products and is an asset for the farmers who use them. The systems are now available as optional extras in the company's range of tankers and trailers.

KEYWORDS: Agriculture, Agricultural technology, Slurry tanker, Vehicle maneuverability, Soil compaction.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Acrónimos	xix
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Metodologia	2
1.4. Estrutura da dissertação	2
1.5. Empresa de acolhimento	2
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1. Indústria agrícola.....	5
2.1.1. Caracterização a nível mundial	6
2.1.2. Caracterização a nível nacional.....	8
2.1.3. Utilização de máquinas no setor agrícola	9
2.1.4. Técnicas e equipamentos.....	11
2.1.5. Limitações atuais do setor	11
2.1.6. Perspetivas de desenvolvimento futuro	12
2.2. Projeto e fabrico de equipamentos agrícolas	13
2.2.1. Definição e características gerais.....	13
2.2.2. Normalização aplicável	14
2.2.3. Materiais usados em equipamentos agrícolas	15
2.2.4. Processos de fabrico	17
2.2.5. Protótipo e validação de equipamentos.....	17
2.3. Desenvolvimento de soluções inovadoras na agricultura	18
2.3.1. Caracterização e âmbito	18
2.3.2. Soluções disponíveis no mercado	18
2.3.3. Reboques agrícolas	19
2.3.4. Princípios de projeto e soluções para reboques.....	20
2.3.5. Sistemas de apoio à manobrabilidade.....	21
2.3.6. Sistemas de redução de compactação de solos	22

2.3.7. Estado-da-arte	23
3. Desenvolvimento	25
3.1. Caracterização da entidade acolhedora.....	25
3.2. Metodologia	25
3.3. Objetivos e requisitos.....	27
3.4. Sistema de apoio à manobrabilidade.....	28
3.4.1. Caracterização do sistema a estudar	28
3.4.2. Problemas existentes.....	33
3.4.3. Anteprojecto.....	34
3.4.3.1. Solução 1.....	35
3.4.3.2. Solução 2.....	36
3.4.3.3. Escolha da solução a implementar	37
3.4.4. Projecto.....	38
3.4.4.1. Descrição da solução final	38
3.4.4.2. Eixos e suspensão	40
3.4.4.3. Modelo tridimensional da cisterna e dos seus componentes.....	41
3.4.4.4. Manuais do fornecedor	43
3.4.4.5. Modos de funcionamento do sistema.....	46
3.4.4.6. Construção do protótipo	47
3.4.4.7. Configuração do sistema	51
3.4.5. Entrega ao cliente	54
3.4.6. Plano de manutenção	57
3.4.7. Análise de custos.....	57
3.5. Sistema de controlo da pressão dos pneus.....	58
3.5.1. Caracterização do sistema a estudar	58
3.5.2. Problemas existentes.....	61
3.5.3. Anteprojecto.....	62
3.5.3.1. Solução 1.....	63
3.5.3.2. Solução 2.....	64
3.5.3.3. Escolha da solução a implementar	65
3.5.4. Projecto.....	66
3.5.4.1. Descrição da solução final	66
3.5.4.2. Eixos, suspensão e modelo da cisterna	69
3.5.4.3. Manuais do fornecedor	70
3.5.4.4. Compressor e reservatórios	71
3.5.4.5. Pneus	74
3.5.4.6. Controlo digital do sistema.....	75
3.5.4.7. Construção do protótipo	76
3.5.5. Plano de manutenção	80

3.5.6. Análise de custos.....	80
4. Conclusão.....	83
4.1. Conclusões finais.....	83
4.2. Limitações e trabalhos futuros.....	84
Referências.....	85
Anexo A.....	93
Anexo B.....	95
Anexo C.....	97
Anexo D.....	101
Glossário.....	105

Lista de Figuras

Figura 1 - Crescimento da produção agrícola mundial nas últimas décadas (em valor monetário) (Our World in Data, 2019).....	6
Figura 2 - Desafios da agricultura no século XXI (Anderson, 2022)	7
Figura 3 - Percentagem de território português utilizado na agricultura nas últimas décadas (Our World in Data, 2022)	9
Figura 4 - Exemplo de trator moderno (a) e ceifeira moderna (b) (Fendt, 2025; CNH, 2014)...	10
Figura 5 - Exemplo de trator autónomo (a) e drone utilizado na agricultura (b) (CNBC, 2016; AZO Robotics, 2024)	10
Figura 6 - Exemplo de reboque agrícola	19
Figura 7 - Exemplo de um sistema de manobrabilidade num automóvel (The Car Connection, 2017)	21
Figura 8 - Exemplo de sistema de apoio à manobrabilidade (Amazone, 2024).....	28
Figura 9 - Exemplo de alfaías Herculano: monocoque (a), cisterna (b) e reboque (c) (Herculano, 2024a)	29
Figura 10 - Eixo fixo num reboque Herculano.....	30
Figura 11 - Funcionamento de reboque autodirecional de três eixos (Herculano, 2024b).....	31
Figura 12 - Eixo autodirecional num reboque Herculano	31
Figura 13 - Cilindro de direção forçada num reboque Herculano	32
Figura 14 - Eixo de direção forçada num reboque Herculano	32
Figura 15 - Suspensão <i>bogie</i> (Herculano, 2024b)	33
Figura 16 - Suspensão <i>tandem</i> (Herculano, 2024b).....	33
Figura 17 - Suspensão <i>tridem</i> (Herculano, 2024b).....	33
Figura 18 - Poster de promoção do sistema <i>SmartDrive</i> da ADR (ADR, 2024)	35
Figura 19 - Poster de promoção do sistema <i>SmartTronic</i> da Hydac (Hydac, 2024).....	36
Figura 20 - Imagem representativa dos componentes do sistema <i>SmartDrive</i> (ADR, 2023a)...	39
Figura 21 - Sensor de ângulo da lança: vista superior (a) e vista inferior (b).....	40
Figura 22 - Eixos ADR utilizados na cisterna preparados para o sistema <i>SmartDrive</i>	40
Figura 23 - Construção da suspensão	41
Figura 24 - Desenho 3D (a) e imagem real do bloco hidráulico (b)	42
Figura 25 - Desenho 3D (a) e imagem real do sensor angular dianteiro (b)	42
Figura 26 - Desenho 3D (a) e imagem real da unidade de controlo (b).....	42
Figura 27 - Desenho 3D (a) e imagem real do filtro do óleo (b)	43
Figura 28 - Desenho CAD completo da cisterna projetada	43
Figura 29 - Opções de ligação do sensor frontal do <i>SmartDrive</i> ao trator: ligação com mola (a) e ligação com haste (b) (ADR, 2023b).....	44
Figura 30 - Circuitos hidráulico (a) e elétrico (b) do <i>SmartDrive</i> (ADR, 2023a)	45
Figura 31 - Válvula de segurança do sistema <i>SmartDrive</i> (ADR, 2023a).....	45
Figura 32 - Descrição da função LS (ADR, 2023a)	46
Figura 33 - Sensores dos eixos: sensor de velocidade (a) e sensor de ângulo (b)	47
Figura 34 - Instalação do sensor de ângulo da lança	48

Figura 35 - Ligação do sensor da lança ao trator: vista superior (a) e vista lateral (b)	48
Figura 36 - Sensor de ângulo da lança pronto para acoplar num trator.....	49
Figura 37 - ECU (a) e distribuidor hidráulico (b) após instalação.....	49
Figura 38 - Filtro do óleo (a) e válvula de segurança do cilindro (b) após instalação	50
Figura 39 - Lança da cisterna equipada com sensor, cardã e acessórios pedidos pelo cliente .	50
Figura 40 - Cisterna finalizada	51
Figura 41 - Monitor de controlo do sistema <i>SmartDrive</i>	51
Figura 42 - Sistema <i>SmartDrive</i> a atuar numa manobra da cisterna	53
Figura 43 - Ligação do sensor de ângulo da lança com o trator	54
Figura 44 - Válvula de segurança ativa (a) e controlos da cisterna dentro da cabine do trator (b)	55
Figura 45 - Ligações na traseira do trator	55
Figura 46 - Enchimento da cisterna para testes.....	56
Figura 47 - Cisterna em testes.....	56
Figura 48 - Sistema de lubrificação central.....	57
Figura 49 - Exemplos de solo compactado por tratores agrícolas: numa plantação (a); na preparação de um terreno (b) (SRUC, 2025; Mississippi State University, 2014)	59
Figura 50 - Trator com CTIS (Michelin, 2025).....	60
Figura 51 - Diferença entre solo saudável (a) e solo compactado (b) (University of Florida, 2021)	61
Figura 52 - Instalação de CTIS pelo interior (a) e pelo exterior (b) (Revista pós-venda, 2022; Valtra, 2025).....	62
Figura 53 - Poster de promoção do CTIS da PTG (PTG, 2025a).....	64
Figura 54 - Representação esquemática de instalação de CTIS (PTG, 2022a)	67
Figura 55 - Componentes do CTIS da PTG (PTG, 2022b).....	68
Figura 56 - Suspensão hidráulica e eixos instalados na cisterna	69
Figura 57 - Representação da instalação dos componentes do CTIS nos eixos: vista isométrica (a) e corte transversal (b) (PTG, 2025b).....	70
Figura 58 - Esquema de ligação dos componentes do CTIS (PTG, 2022b)	71
Figura 59 - Exemplo de instalação do compressor numa cisterna (PTG, 2023).....	72
Figura 60 - Esquema de montagem do compressor, dos reservatórios e dos restantes componentes (PTG, 2023)	73
Figura 61 - Pneu Mitas Agriterra 03 utilizado na cisterna (Mitas, 2022)	74
Figura 62 - Capacidade de carga do pneu Agriterra 03 consoante a pressão e a velocidade (Mitas, 2022)	75
Figura 63 - Modelo do painel de controlo digital fornecido pela PTG (PTG, 2025a)	76
Figura 64 - Instalação das ligações em Y (a) e das uniões rotativas (b) nos eixos	76
Figura 65 - Instalação das válvulas de ar das rodas e ligação com as uniões rotativas	77
Figura 66 - Instalação dos depósitos de ar da travagem pneumática e da válvula de segurança	77
Figura 67 - ERV após instalação	78
Figura 68 - Instalação do compressor e do reservatório do CTIS na parede lateral da cisterna	78

Figura 69 - Instalação do manómetro e do controlo eletrónico do compressor (a) e teste do painel de controlo digital do CTIS (b).....	79
Figura 70 - Cisterna em exibição no Agritec Day Herculano 2024 (Revista Voz do campo, 2024)	79

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Trabalhos relevantes sobre as mais recentes tecnologias na agricultura.....	23
Tabela 2 - Etapas da metodologia DSR (Geerts, 2011)	26
Tabela 3 - Diferenças entre os sistemas DFC e DFE	34
Tabela 4 - Significado de análise SWOT (Gürel, 2017)	37
Tabela 5 - Análise SWOT ao caso do sistema direcional forçado.....	37
Tabela 6 - Equipamento do sistema <i>SmartDrive</i> associado à Figura 20	39
Tabela 7 - Etapas ordenadas da configuração do sistema <i>SmartDrive</i>	52
Tabela 8 - Análise financeira do projeto do sistema DFE.....	58
Tabela 9 - Análise SWOT ao caso do sistema de controlo da pressão dos pneus	65
Tabela 10 - Lista de componentes do CTIS da PTG	69
Tabela 11 - Especificações técnicas dos compressores V2000 e V4000 (PTG, 2023)	72
Tabela 12 - Análise financeira do projeto do CTIS	80

Acrónimos

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CTIS	<i>Central Tire Inflation System</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DFC	Direcional Forçado Convencional
DFE	Direcional Forçado Eletrônico
DSR	<i>Design Science Research</i>
ECU	<i>Engine Control Unit</i>
ERV	<i>Electronic Regulation Valve</i>
EUA	Estados Unidos da América
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OT	Otimização Topológica
PIB	Produto Interno Bruto
PLA	<i>Polylactic Acid (Ácido Polilático)</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>

1. Introdução

1.1. Contextualização

Desde o aparecimento das primeiras civilizações, a agricultura é a atividade base de sustento da população humana. Hoje em dia, esta atividade recorre cada vez mais ao uso de tecnologia, como forma de aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção. A obtenção de alimentos é conseguida graças à utilização de equipamentos próprios para a atividade, como tratores e respetivas alfaias, ceifeiras, debulhadoras, entre outros. Atualmente, parte destes equipamentos agrícolas já funcionam de forma autónoma e com um elevado nível de tecnologia associado. Apesar de todos os avanços recentes na agricultura e na indústria de equipamentos agrícolas, ainda existem limitações, nomeadamente nos equipamentos mais convencionais, que compõem a maioria em Portugal. Dois entraves que afetam a atividade agrícola a nível mundial são a reduzida manobrabilidade de veículos agrícolas de grandes dimensões e a compactação do solo. Estas restrições são indesejadas na agricultura e têm consequências como acidentes, perdas de produtividade e aumento dos custos de produção.

1.2. Objetivos

O projeto realizado teve como principal objetivo a implementação de duas novas tecnologias inovadoras, cada vez mais exploradas no mundo agrícola: um sistema de apoio à manobrabilidade de veículos de grandes dimensões, para auxílio ao movimento, e um sistema de controlo da pressão dos pneus, para a redução da compactação dos solos agrícolas. Estas novas tecnologias apresentam grandes vantagens quando aplicadas em veículos e alfaias agrícolas (ver glossário) e são cada vez mais requisitadas pelos agricultores. O sistema de apoio à manobrabilidade utiliza atuadores hidráulicos para alterar a direção das rodas e um conjunto de sensores para recolher informação. Esta é processada por uma unidade destinada ao efeito, que controla todo o circuito. O sistema está conectado ao sistema hidráulico do trator e é comandado a partir de um monitor presente na cabine do trator. O sistema de controlo da pressão dos pneus utiliza um compressor como fonte de ar comprimido e um, ou mais, reservatórios de ar para o armazenamento. Este possui ligações pneumáticas a todas as rodas em que o sistema esteja instalado e uma válvula de controlo central que faz a distribuição do ar. O controlo é efetuado a partir de um monitor presente na cabine do trator. Estes sistemas modernos já se encontram disponíveis em produtos de fabricantes estrangeiros, como em França e Itália, mas não em Portugal. Dado o dinamismo da Herculano na procura de soluções

que acrescentem valor aos seus produtos, a empresa quis ser pioneira em Portugal na implementação destas tecnologias.

1.3. Metodologia

A metodologia utilizada na realização deste projeto foi a *Design Science Research* (DSR). Este método científico tem como foco procura de conhecimento para a validação de soluções que resolvem problemas práticos. Neste sentido, seguiram-se as seis etapas definidas pela metodologia (identificação do problema, definição de objetivos, design e desenvolvimento, demonstração, avaliação da solução e conclusões). No início do estágio curricular na empresa foi apresentado o contexto tecnológico da Herculano, quais as ambições para avanços futuros e quais as limitações das suas alfaias de grande dimensão (Etapa 1). Posteriormente foi definido o objetivo de implementar as duas tecnologias referidas anteriormente (Etapa 2). Seguiu-se a aplicação dos dois sistemas em duas cisternas Herculano (Etapa 3), a verificação do seu funcionamento (Etapa 4) e análise do seu desempenho (Etapa 5). No final a equipa refletiu sobre a aplicabilidade destes sistemas na gama de produtos Herculano (Etapa 6).

1.4. Estrutura da dissertação

Este documento encontra-se dividido em quatro capítulos principais: introdução, revisão bibliográfica, desenvolvimento e conclusão.

A introdução inclui a contextualização, os objetivos, a metodologia, a estrutura da dissertação e a empresa de acolhimento. Neste capítulo é realizada uma breve apresentação da presente dissertação.

A revisão bibliográfica tem como propósito expor os fundamentos que sustentam o trabalho realizado. Nesta encontra-se descrito o contexto atual da indústria agrícola, as bases de projeto e fabrico de equipamentos agrícolas e as mais recentes soluções inovadoras na agricultura relevantes para o trabalho.

O desenvolvimento é o terceiro e principal capítulo da dissertação e nele está descrito todo o trabalho prático realizado. Inicialmente é apresentada a entidade acolhedora, a metodologia científica e os objetivos e requisitos e, de seguida, a implementação do sistema de apoio à manobrabilidade e o sistema de controlo da pressão dos pneus.

A conclusão é o quarto e último capítulo do documento e relata as ilações obtidas do trabalho realizado. Para além das conclusões finais relativas ao projeto desenvolvido são apresentadas as limitações encontradas e sugestões de trabalhos futuros.

1.5. Empresa de acolhimento

A Herculano – Alfaias Agrícolas S.A. é uma empresa com mais de 50 anos de experiência no fabrico de utensílios agrícolas, entre eles reboques, cisternas e outras alfaias. A empresa faz

parte do grupo Ferpinta S.G.P.S., S.A. e, para além do mercado europeu, está presente em diversos mercados externos como a Nova Zelândia, Austrália, Angola, Moçambique e Canadá.

Introdução

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Indústria agrícola

O setor agrícola caracteriza-se pelas atividades agrícolas no sentido estrito e pelas atividades que se desenvolvem a jusante com a circulação e comercialização de produtos. Este conceito é descrito no n.º 1 do artigo 38.º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (Jornal oficial da União Europeia, 2016), o qual define os “*produtos agrícolas como os produtos do solo, da pecuária e da pesca, bem como os produtos do primeiro estado de transformação que estejam em relação direta com estes produtos*”. Neste contexto, a política comum aos mercados agrícolas aplica-se igualmente à produção e ao comércio de tais produtos.

Uma vez que a agricultura integra grande parte da produção dos países e emprega uma larga força de trabalho na maior parte dos países em desenvolvimento, este setor torna-se componente chave da economia (Furuhashi & Gay, 2017), apesar de o papel da agricultura no crescimento se ter modificado significativamente ao longo do último meio século, com a industrialização a ganhar relevância e a forçar parte da população a abandonar zonas rurais para viver e trabalhar em zonas urbanas. Malavolta et al. (1997) consideram a agricultura fulcral na progressão dos ecossistemas económicos e o fator ciência uma componente importante na simultânea preservação ambiental, já que esta atividade está dependente de condições climáticas, bem como variáveis socioeconómicas e conhecimentos técnicos. Deste modo, as técnicas agrícolas são bastante diversificadas nas várias regiões do mundo.

A evolução da agricultura como resultado dos avanços científicos e tecnológicos tem vindo a caracterizar cada vez mais as sociedades e o modo de vida das populações. Em regiões como África, a agricultura desempenha um papel essencial na economia, como fonte de emprego da maior parte da população. Por exemplo em Moçambique, a agricultura familiar emprega mais 70% da população e contribui com 24% do Produto Interno Bruto (PIB).

O papel da agricultura mudou de forma notável ao longo do último meio século e observou-se um processo de crescimento que exigiu a realocação sistemática de um conjunto de fatores de produção do setor primário, que previamente se destacava pela baixa produtividade e tecnologia tradicional (Adelman, 1999). Assim, os dois principais elementos caracterizadores da agricultura durante as primeiras fases de desenvolvimento eram a agricultura de produção de bens, que satisfazia diretamente as necessidades humanas básicas, e a produção agrícola, que associava o esforço humano ao esforço animal e aos recursos como terras e outros ativos agrogeológicos (Dethier & Effenberger, 2012; OECD, 2023). Com a ampla disponibilidade de

recursos naturais, as primeiras filosofias sobre o desenvolvimento da agricultura acreditavam que esta poderia crescer, independentemente de outras atividades económicas. Não obstante, a dependência da agricultura residia na oferta fixa de terras e a sua expansão era limitada.

2.1.1. Caracterização a nível mundial

O processo de transformação da agricultura deu-se, inicialmente, através da evolução do homem ao longo do tempo. Perante a necessidade de se estabelecer, foi necessário desenvolver uma nova estratégia para a obtenção de alimentos que não fossem somente fornecidos espontaneamente pela natureza, mas sim pelo cultivo. Este processo de plantio permitiu que a agricultura se desenvolvesse ao longo dos tempos, contando com o apoio de novas técnicas para satisfazer as necessidades do homem. No entanto, a agricultura do século XXI enfrenta múltiplos desafios, como a constante produção de mais bens para alimentar uma população crescente e um mercado de bioenergia potencialmente em evolução. Além de a agricultura contribuir para o crescimento global de vários países em desenvolvimento, coloca-se o desafio adicional da necessidade de adoção de métodos de produção mais eficientes, sustentáveis e que tenham em consideração as alterações climáticas (McCalla, 2001). A partir de meados do século XX a agricultura começou a ser monitorizada em termos estatísticos e surgiram as primeiras indicações do crescimento da produção mundial, que se mantem até aos dias de hoje. Este crescimento está representado na Figura 1, que demonstra a produção agrícola mundial das últimas décadas.

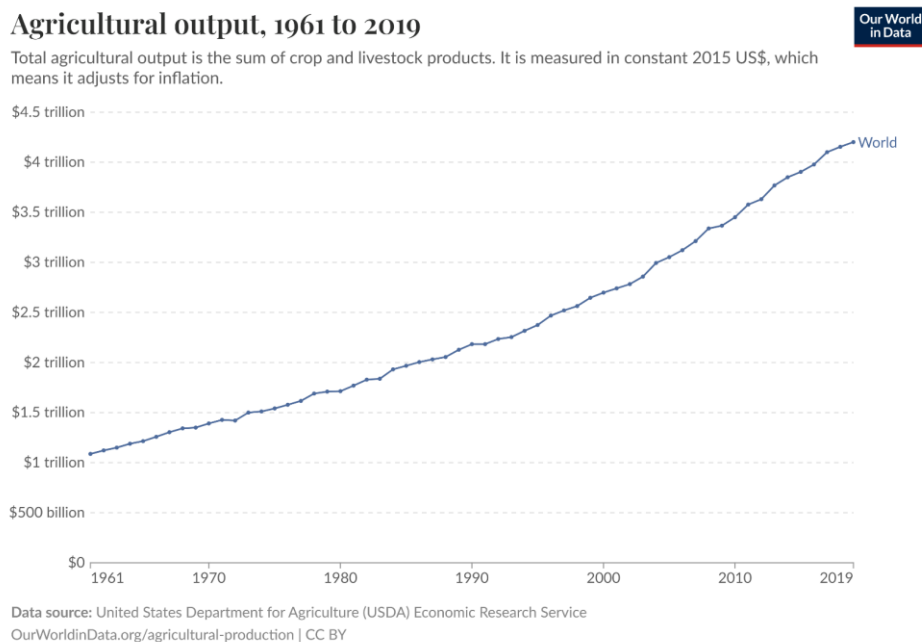


Figura 1 - Crescimento da produção agrícola mundial nas últimas décadas (em valor monetário) (Our World in Data, 2019)

No mundo atual de avançada tecnologia, os dispositivos eletrónicos representam parte integrante da vida quotidiana da população e a indústria agrícola apoia-se nesta tecnologia e inovação com máquinas que permitem transportar produtos e melhorar continuamente as

técnicas de produção. As explorações agrícolas e a agricultura moderna são muito distintas das antigas, principalmente nos avanços tecnológicos, que incluem por exemplo sensores, dispositivos eletrônicos, maquinaria e elevado recurso à tecnologia de informação. Atualmente, são exemplos destas tecnologias avançadas os robôs, os sensores de temperatura e humidade, ou mesmo a tecnologia GPS. Estes dispositivos avançados, a agricultura de precisão e sistemas robóticos permitem que as empresas sejam mais eficientes economicamente, seguras e tenham maior sensibilidade ecológica (Rosen, 2018). A título de exemplo, os agricultores já não têm a necessidade de aplicar água, fertilizantes e pesticidas uniformemente em toda a área de cultivo pois, com recurso a tecnologia, estes conseguem utilizar as quantidades mínimas necessárias destes elementos para atingir áreas específicas ou até aplicar diferentes tipos de tratamento conforme a zona. Como resultado, existe maior produtividade das culturas e uma utilização adequada de água, fertilizantes e pesticidas, o que potencia a redução dos preços dos alimentos, diminuição do impacto nos ecossistemas, redução dos fluxos de produtos químicos nos rios e águas subterrâneas e aumento da segurança dos trabalhadores. De acordo com Anderson (2022), a agricultura mundial no século XXI enfrenta três grandes desafios (Figura 2).

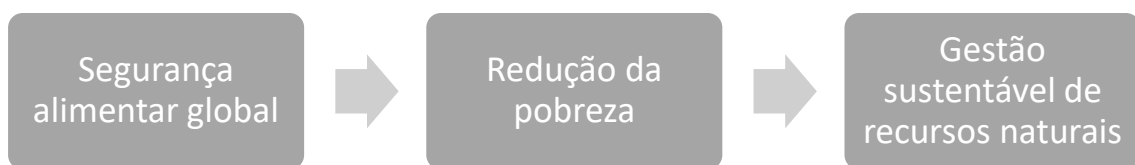


Figura 2 - Desafios da agricultura no século XXI (Anderson, 2022)

Estes três desafios conduziram à inovação da agricultura no século XXI, sendo o primeiro a produção de alimentos suficientes para a crescente população mundial. No ano de 2025, a população mundial deverá atingir oito mil milhões de pessoas e, nos próximos 25 anos, o crescimento populacional de quase dois mil milhões será nos países em desenvolvimento. As implicações relacionadas com a urbanização são importantes para o sistema alimentar, pelo que, em alguns países, prevê-se que as pessoas nas áreas rurais possam representar mais de 60% do seu abastecimento alimentar e que sejam dependentes de produção própria. Neste contexto, a produção de alimentos é um grande desafio, e aumenta a necessidade de melhorar os processos inerentes à atividade, aumentar a produtividade e desenvolver novos métodos agrícolas que não prejudiquem os recursos naturais ou o meio ambiente.

O segundo desafio que a agricultura global enfrenta refere-se ao desenvolvimento de tecnologias e políticas capazes de reduzir a pobreza. Para enfrentar este problema, os agricultores necessitam de acesso a novas tecnologias e políticas inovadoras. Na mesma linha, o terceiro desafio prende-se com o desenvolvimento de um conjunto de tecnologias e incentivos que permitam aos pequenos agricultores concentrarem-se na gestão a longo prazo dos recursos naturais. Deste modo, a melhoria da gestão dos recursos naturais encontra-se diretamente relacionada com a capacidade de aumentar a produtividade e a rentabilidade dos pequenos agricultores nos países em desenvolvimento (McCalla, 2001).

2.1.2. Caracterização a nível nacional

Portugal foi um dos primeiros países europeus a publicar dados estatísticos agrícolas fiáveis desde pelo menos a segunda metade do século passado, com periodicidade regular e centrados em três unidades administrativas diferentes (Direções Regionais de Agricultura e Pescas, Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural e Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas). Adicionalmente, a agricultura foi o setor económico mais importante em Portugal até à década de 1960. Apesar de Portugal ser um país europeu relativamente pequeno, a presença de diferentes condições climáticas e agroecológicas nas regiões norte, centro e sul, permitiu o cultivo de vários produtos agrícolas, cada um com um papel importante no setor primário (Santos, 2005).

O setor da agricultura em Portugal foi, até meados do século XX, o setor que mais contribuiu para o PIB e, até à década de 1960, foi o principal dinamizador económico e social nos territórios rurais (Pinheiro, 1997). Em semelhança a outros países europeus, Portugal teve como principal preocupação a evolução da produção. Contudo, entre as temáticas agrícolas salienta-se um aspeto que emerge como fundamental nos debates científicos: a biodiversidade agrícola. Esta pode ser vista como uma medida de resiliência da agricultura de um determinado local, onde a variedade das plantações, do gado e dos organismos do solo se demonstram de grande importância.

O peso da agricultura no PIB nacional representa cerca de 4% e o setor da agricultura tem protagonizado uma boa resposta em termos de modernização dos seus sistemas de produção, com a aplicação de novas tecnologias, que se têm refletido na produção de alimentos, desenvolvimento dos territórios rurais e preservação de bens públicos ambientais (PORDATA, 2022). Em termos de emprego e exportações, o setor agrícola demonstra uma taxa de crescimento das exportações que é superior às importações. Contudo, o saldo comercial agroalimentar encontra-se estruturalmente negativo e, no ano de 2019, situou-se em cerca de 3,8 milhões de euros.

Um dos aspetos a destacar é a diferenciação de Portugal em termos da sua agricultura relativamente a outros países europeus com uma concentração geográfica competitiva, a par de grandes desequilíbrios territoriais. A título de exemplo, o setor primário gera 10% do valor acrescentado bruto na região do Alentejo, na Lezíria do Tejo e na Região Autónoma dos Açores. No Douro e Trás-os-Montes mais de 40% do emprego criado é do setor primário (Silva, 2020).

Apesar de tudo isto, ao longo das últimas décadas a agricultura em Portugal tem vindo a perder relevância. Isto deve-se a diversos fatores como a migração da população para áreas urbanas e o conseqüente abandono das zonas rurais, e a concorrência da produção agrícola estrangeira, que por vezes é mais competitiva que os produtos nacionais em termos de preço. De forma a ter uma melhor perceção deste declínio da agricultura nacional, na Figura 3 está demonstrada a percentagem de território utilizada para a agricultura em Portugal, entre 1961 e 2022.

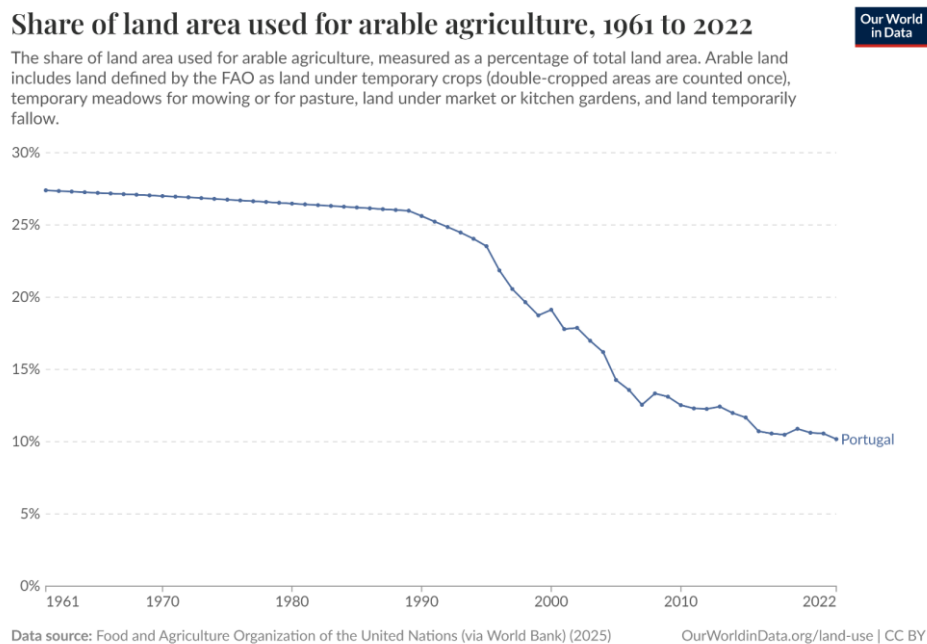


Figura 3 - Percentagem de território português utilizado na agricultura nas últimas décadas (Our World in Data, 2022)

2.1.3. Utilização de máquinas no setor agrícola

A utilização de máquinas revolucionou por completo a agricultura nas últimas décadas e permitiu que a atividade agrícola não fosse inteiramente dependente da força humana e animal. Com a introdução da tecnologia moderna na agricultura, o cultivo de produtos agrícolas tem vindo a tornar-se cada vez mais fácil e rentável. A agricultura mecanizada auxilia a realização de tarefas em menos tempo, economiza os custos excessivos de mão de obra e está disponível a qualquer momento (Spekken et al., 2016).

Atualmente, a utilização de máquinas no setor agrícola é indispensável, e existe uma enorme diversidade de equipamentos para as mais diversas funções necessárias ao setor agrícola. A principal máquina utilizada na agricultura moderna é o trator, cuja versatilidade é altamente vantajosa. Este veículo é capaz de acoplar os mais diversos tipos de equipamentos agrícolas, denominados implementos, tanto na traseira do trator, como na dianteira. Os tratores têm unidades de potências próprias, normalmente motores a combustão, que muitas vezes transmitem potência aos implementos acoplados, por meio de uma tomada de força, de um sistema hidráulico ou de um sistema pneumático. Outro exemplo de máquinas com unidades de potência próprias importantes na agricultura são as ceifeiras-debulhadoras, essenciais para colher as plantações de forma eficiente. Na Figura 4 é possível observar um exemplo de um trator (a) e de uma ceifeira (b) modernos.

A gestão e manutenção das máquinas agrícolas é responsabilidade dos agricultores e dos prestadores de serviços, e é uma tarefa essencial à atividade agrícola. A distribuição de recursos requer uma programação regular, enquanto os veículos necessitam de ser monitorizados de perto, para que sejam evitados ao máximo problemas mecânicos (Sørensen & Bochtis, 2009).

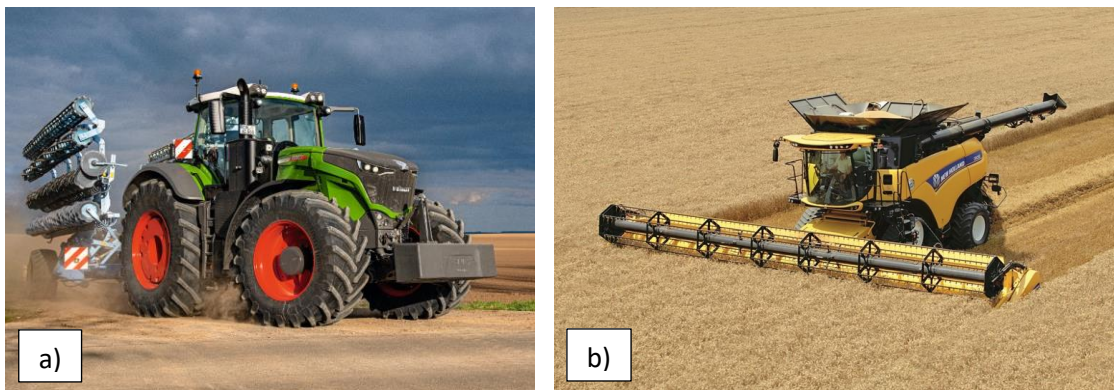


Figura 4 - Exemplo de trator moderno (a) e ceifeira moderna (b) (Fendt, 2025; CNH, 2014)

Ao longo dos últimos anos, a agricultura tem sido palco de um processo de transformação, no que diz respeito às máquinas de trabalho. A utilização de maquinaria autónoma tem vindo a ser cada vez mais expressiva, assim como o uso de veículos aéreos não tripulados (drones). Máquinas como tratores autónomos e ceifeiras autónomas são guiadas por GPS (*Global Positioning System*) e incorporam sistemas de inteligência artificial e *machine learning* para otimizarem ao máximo o trabalho de campo e recolher informação. A utilização de drones na agricultura tem-se revelado bastante vantajosa, pois estes conseguem realizar várias tarefas, incluindo monitorizar plantações de forma eficaz com fotografia aérea e mapeamento. É possível recolher informação sobre a saúde da plantação, os níveis de água do solo e as infestações de pestes sem que o agricultor tenha de caminhar fisicamente pelo campo. Na Figura 5 é possível observar um exemplo de um trator autónomo (a) e um exemplo de um drone utilizado na agricultura (b).

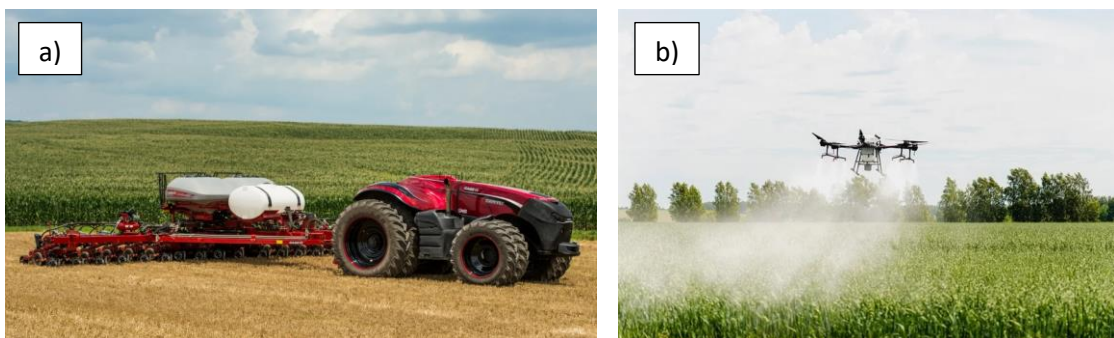


Figura 5 - Exemplo de trator autónomo (a) e drone utilizado na agricultura (b) (CNBC, 2016; AZO Robotics, 2024)

Atualmente o setor agrícola continua a experienciar um grau cada vez maior de automação, seja na operação de máquinas agrícolas, como na própria gestão agrícola. De acordo com Sørensen e Bochtis (2009), este aspeto é conseguido pelo avanço das capacidades computacionais modernas de deteção e atuação que permitem a implementação de algoritmos de controlo avançados.

Santos (2005) refere que “a agricultura europeia do futuro será uma agricultura económica, social e ambientalmente sustentável, entendendo por agricultura sustentável aquela que é competitiva, socialmente aceite, economicamente atrativa e melhoradora do ambiente”. Neste

sentido, a automação de máquinas agrícolas e equipamentos de trabalho é crucial para que a agricultura não dependa de técnicas manuais. As vantagens desta prática incluem a redução significativa dos custos de produção de produtos agrícolas, diminuição da mão de obra, melhoria do conforto dos trabalhadores e aumento da produtividade do trabalho.

2.1.4. Técnicas e equipamentos

A mecanização da agricultura está presente por toda a parte e é essencial para fazer com que o trabalho no campo seja eficiente. Hoje em dia, os agricultores fazem uso de toda uma panóplia de equipamentos agrícolas, alguns com uma unidade de potência independente, outros dependentes de uma. Os principais equipamentos utilizados incluem tratores, charruas, arados, fresas, reboques, grades de discos, grades rotativas, semeadoras, espalhadores, pulverizadores, ceifadeiras-debulhadoras, entre outros.

Os implementos utilizados na agricultura são fabricados para ter uma função específica e são dependentes de uma unidade de potência, quase sempre um trator. As funções mais comuns dos implementos incluem o remexer e revirar da terra, quer seja a profundidade ou apenas no subsolo, o transporte ligeiro ou pesado, a pulverização e espalhamento de fertilizante e pesticidas, entre outras. A ação destes equipamentos está também, normalmente, dependente de energia fornecida pelo trator, que pode ser transmitida através de uma tomada de força, de um sistema hidráulico ou de um sistema pneumático.

Os equipamentos agrícolas evoluíram bastante no último meio século e revolucionaram por completo o setor agrícola. Tanto os veículos com unidade de potência, como os equipamentos conectados aos mesmos, têm cada vez mais capacidades para operar de forma autónoma. As tecnologias desenvolvidas nos últimos anos têm como foco a orientação automatizada do processo de cultivo (Bechar, 2010; Bechar & Vigneault, 2017) e diferentes ferramentas são utilizadas, como por exemplo, os sensores giroscópicos de fibra ótica, a navegação por satélite ou *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e os acelerómetros de corrente alternada, usados para determinar a posição de um veículo autónomo. As estruturas de dados geométricos são utilizadas para calcular o percurso entre a origem e o destino, enquanto os controladores digitais têm como função controlar a orientação e a velocidade do veículo (Almeida Bessa et al., 2015).

Outra tecnologia importante para o movimento de veículos autónomos na agricultura prende-se com o posicionamento correto de cargas variáveis e em declives (Grečenko, 1984; Yisa et al., 1998). Os problemas de tração dos veículos neste tipo de terrenos já são conhecidos há muito e, no caso dos veículos autónomos, podem ser corrigidos pelos sistemas de orientação que controlam a direção e a posição do trator (Yisa & Terao, 1995; Oksanen & Backman, 2016).

2.1.5. Limitações atuais do setor

Anteriormente, a agricultura era vista como um setor tradicional e de baixa produtividade, que apenas contribuía passivamente para o desenvolvimento, fornecia alimentos e emprego. Atualmente, o crescimento agrícola ainda é considerado necessário para o desenvolvimento da

economia de um país e para a transformação de uma economia tradicional numa economia moderna (Gautam, 2022). O setor agrícola de um país confere um conjunto de benefícios importantes, incluindo o fornecimento de alimentos, rendimentos e emprego, bem como fatores cruciais para um desenvolvimento mais amplo da economia. Para promover estes benefícios e resultados, muitos governos fornecem apoios através da proteção ou intervenções no mercado interno. Contudo, em muitos casos, estes apoios e programas têm resultados adversos, ou seja, podem desviar o investimento de outros setores da economia, prejudicarem as indústrias agrícolas mais produtivas, contribuir para a degradação ambiental e limitarem o rendimento e o crescimento económico. Neste sentido, a experiência de muitos países demonstrou que a reforma de apoio agrícola, através da abertura do comércio e da redução dos subsídios, bem como a reorganização cuidadosa do apoio, pode construir um país mais produtivo e internacionalmente mais competitivo no setor agrícola (Dethier & Effenberger 2012; OECD, 2023).

Os apoios disponibilizados atualmente aos produtores agrícolas têm um foco cada vez maior na sustentabilidade da atividade. Ao longo das últimas décadas, os agricultores têm sido pressionados por diversas entidades como os governos, organizações não governamentais, consumidores, empresas e cooperativas para se tornarem mais sustentáveis (Martin et al., 2015; Miranda-Ackerman & Azzaro-Pantel, 2017; Tey et al., 2014; Schleifer & Sun, 2020). Contudo, alcançar um desenvolvimento mais sustentável tende a apresentar uma série de barreiras que podem dificultar a sua adoção. Neste sentido, uma agricultura que procura direcionar-se para um caminho mais sustentável tem de enfrentar e superar um conjunto de barreiras e a sua identificação é o primeiro passo para que as diversas ações sustentáveis possam ser adotadas. A este respeito, Stewart et al. (2016) analisaram 22 estudos empíricos em diversos setores e agruparam as barreiras identificadas nos estudos em internas e externas, sendo que as barreiras internas constituem quatro dimensões (estrutural, política, humana e cultural) e as barreiras externas incluem a regulamentação mercado, a tecnologia e a rede de valores. As barreiras identificadas especificamente em estudos que trataram do setor agrícola estão dispersas na literatura.

Outro fator que afeta fortemente a atividade agrícola são os custos dos equipamentos. Estes tendem a ser bastante significativos na maior parte dos sistemas agrícolas, onde o desempenho e a eficiência da produção são grandemente afetados pelas máquinas selecionadas e pela sua operação (Abares, 2019). Os fabricantes de equipamentos geralmente produzem itens individuais que são vendidos com base na produtividade teórica do objeto. A literatura descreve algumas análises efetuadas e determinou-se que a quantidade e o tipo de equipamento variam amplamente com base na área geográfica, fatores económicos, e o tipo de agricultura a efetuar (Suciu et al., 2018).

2.1.6. Perspetivas de desenvolvimento futuro

O investimento em tecnologias agrícolas avançadas aumentou em 80% desde 2012, sendo que a maior parte destes investimentos tem sido centrada em automação, com destaque para as tecnologias robóticas (Oberti & Shapiro, 2016). Muitas operações agrícolas são adequadas à

automação, com veículos que geralmente operam em áreas abertas e de grandes dimensões (Walker et al., 2016).

A produtividade e a qualidade do trabalho devem aumentar mesmo para sistemas semiautomáticos, que necessitam de responder rapidamente nos ambientes agrícolas não estruturados (Bechar, 2010). Os fatores técnicos que limitam os sistemas robóticos incluem as deficiências de desempenho e a tomada de decisão automatizada, associados à necessidade de baixo envolvimento humano em ambientes dinâmicos. A tecnologia deve ser capaz de reconhecer condições de mudança e variabilidade espacial no ambiente físico, através de sistemas inteligentes (Almeida Bessa et al., 2015).

As tecnologias e os sistemas de equipamentos agrícolas representam um mercado altamente diversificado, com produtos diferenciados e tecnologias necessárias para diferentes culturas. As condições de utilização e de armazenamento de materiais também são elementos importantes no setor de equipamentos agrícolas. Os sistemas robóticos podem reduzir os custos e aumentar a eficiência, através da substituição dos métodos mecânicos ou do trabalho humano com a autonomia de sistemas (Bac et al., 2014). Este tipo de tecnologia oferece potencial para a agricultura autônoma 24 horas por dia, enquanto diversas aplicações que facilitam a agricultura permanente estão a avançar a elevado ritmo (Bechar & Vigneault, 2017).

Por outro lado, as técnicas de análise de dados em grande escala já estão a ser utilizadas na agricultura e, embora não sejam ainda rotuladas, ajudam a gerir as condições sazonais e melhorar a gestão de negócios agrícolas (Walsh et al., 2019). A fusão de fontes de dados espaciais em grande escala pode criar mapas ricos em informações como os dados meteorológicos históricos em tempo real ou mapas digitais sobre o solo. A otimização da colheita de produtos hortícolas e a produção de gado também têm evoluído e ficado mais viável tecnicamente à medida que mais agricultores começam a monitorizar terras e animais (Aiello et al., 2018; Wang et al., 2014).

2.2. Projeto e fabrico de equipamentos agrícolas

2.2.1. Definição e características gerais

A gestão de um projeto de produção é definida como a coordenação de todos os meios disponíveis com base nas necessidades da qualidade, tempo e custo dos equipamentos. O planeamento de projetos é a chave para o sucesso e, no caso de projetos com grandes investimentos, é indispensável. O projeto de elementos de máquinas envolve procedimentos extensos, cálculos complexos e muitas decisões de projeto, pelo que é importante ter o controlo total de todas as variáveis e requisitos devido à elevada complexidade e investimento que estão associados, que poderão conduzir a elevadas perdas se o plano não for corretamente executado (Morris, 2013). De acordo com o Project Management Institute (2021), um projeto é *“um esforço temporário empreendido para criar um produto, um serviço ou um resultado único”*. Neste sentido, a gestão de projetos é atualmente uma área em rápido crescimento e definida como a *“capacidade de definir uma meta, planear para alcançá-la, e executar o plano com responsabilidade e controlo”* (Samid, 1995). A nível tradicional, seja empiricamente ou em

estudos académicos, a gestão de projetos inicia-se quando os requisitos são definidos. Neste contexto, a gestão de projetos de fabrico representa um conjunto de conceitos, ferramentas e técnicas sobre como executar projetos dentro do orçamento, prazo e de acordo com as exigências estipuladas no quadro de uma estratégia explícita inicialmente (Morris, 2013).

O fabrico de equipamentos agrícolas e a inovação existente nesta área estão diretamente relacionadas com a mecanização do setor agrícola, que pode ser definida como um processo de utilização de diferentes tipos de equipamentos altamente eficientes, em comparação com os equipamentos mais tradicionais e primitivos. Para além dos novos padrões de rotação de culturas, a importância desta mecanização foi bem compreendida durante a revolução sustentável em todo o mundo. Esta revolução verde refere-se à renovação das práticas agrícolas que se iniciou na década de 1980 (Sarkar, 2016; Briney, 2019).

2.2.2. Normalização aplicável

Hoje em dia praticamente todas as indústrias existentes estão sujeitas a normas e regulamentos, que incidem sobre os mais diversos temas como a produção de produtos, os procedimentos no local de trabalho e o preço final dos produtos fabricados. Ao nível do projeto de fabrico de equipamentos, a marcação “CE” de conformidade indica que os equipamentos obedecem a um conjunto de disposições ou aos mínimos de segurança estabelecidos como necessários para o trabalho agrícola. Para além das normas europeias, existem ainda normas internacionais como a ISO 9000, que determina a qualidade durante o processo de fabrico, sendo que a norma ISO (*International Organization for Standardization*) é uma garantia sobre o fabricante que atua desde o desenho do produto até ao produto final.

Não obstante, a nível nacional, o Decreto-lei nº 50/2005 de 25 de fevereiro transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 89/655/CE do Conselho de 30 de novembro, alterada pela Diretiva nº 95/63/CE do Conselho de 5 de dezembro e pela Diretiva n.º 2001/45/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de junho (alterou pela segunda vez a Diretiva n.º 89/655/CEE), relacionada com as obrigações mínimas de segurança e de saúde para a utilização pelos trabalhadores e equipamentos de trabalho. Contudo, no ano de 2019 foi publicado o Decreto-Lei nº 118/2019 de 21 de agosto que assegura a execução na ordem jurídica interna das obrigações decorrentes do Regulamento (UE) 2016/425 do Parlamento Europeu e do Conselho de 9 de março de 2016 relativo aos equipamentos de proteção individual e que revoga a Diretiva 89/686/CEE do Conselho.

A nível europeu, a homologação de todos os veículos agrícolas e florestais e dos respetivos sistemas, componentes ou unidades técnicas está dependente do cumprimento do Regulamento UE N.º 167/2013. Este visa simplificar e homogeneizar os procedimentos de homologação dos veículos a nível europeu, com o objetivo de assegurar um elevado nível de segurança funcional, segurança no trabalho e proteção ambiental. Os principais aspetos abrangidos pelo regulamento são:

- Massas máximas admissíveis em carga;
- Dimensões;

- Sistemas de travagem;
- Velocidade nominal máxima;
- Dispositivos de engate homologados.

Os veículos que cumprem o regulamento são considerados homologados e podem ser comercializados em todos os estados-membros da união europeia, sem terem de cumprir requisitos adicionais (Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, 2025; Herculano, 2025a).

2.2.3. Materiais usados em equipamentos agrícolas

A ciência e a engenharia de materiais desempenham um papel vital nesta era moderna da tecnologia. Existem vários tipos de materiais utilizados atualmente na indústria, habitação, agricultura e transportes, para atender às diversas necessidades individuais ou coletivas. Assim, é de grande importância o conhecimento dos materiais e das suas propriedades, bem como os seus comportamentos nos processos de fabrico e tratamento térmico.

O tipo de material mais comumente utilizado na construção de equipamentos agrícolas é o aço. Entre os mais diversos tipos de aço existentes é necessário fazer uma escolha adequada de qual o tipo a usar. Os diferentes tipos de aço podem ser divididos em diversas categorias, conforme a sua composição química e aplicação. As principais categorias de interesse são (Isakov, 2008):

- a) Aço carbono;
- b) Aço inoxidável;
- c) Aço para ferramentas.

Os aços ao carbono são um tipo de aço que contém como principais elementos constituintes ferro e carbono. Estes são divididos em três categorias, conforme a percentagem de carbono existente. Os aços com baixa percentagem de carbono (até 0,3%) caracterizam-se por terem boa ductilidade, serem fáceis de processar e de soldar. Estes são normalmente usados em componentes estruturais devido a estas propriedades. Os aços com uma percentagem média de carbono (entre 0,3% e 0,6%) apresentam uma maior resistência em relação aos aços de baixo carbono e são também apropriados a tratamentos térmicos para melhoramento das suas propriedades. Este tipo de aço é comum ser utilizado em peças mecânicas de maquinaria pesada ou peças automóveis, como por exemplo, eixos, veios e engrenagens. Os aços com elevada percentagem de carbono (entre 0,6% e 2%) exibem elevados níveis de dureza e resistência ao desgaste. Estes são aços frágeis, difíceis de trabalhar e suscetíveis a fissuração. Aplicam-se normalmente em peças sujeitas a grande desgaste mecânico. De uma forma geral, os aços ao carbono são amplamente usados graças ao seu baixo preço, oferecendo boas propriedades mecânicas. Apesar disto, a inexistência de outros elementos de liga faz com que a sua resistência à corrosão seja baixa. Neste sentido, é importante ter em conta os revestimentos possíveis de aplicar ao aço, para que este seja durável na sua aplicação (Dwivedi et al., 2017).

Os aços inoxidáveis apresentam como principais elementos constituintes o cromo e o ferro. A quantidade de carbono nestes materiais é variável e, normalmente, não são facilmente tratáveis termicamente. A sua principal característica é a elevada resistência à corrosão, sendo as outras propriedades mecânicas semelhantes às dos aços convencionais. De seguida apresentam-se os principais tipos de aços inoxidáveis (Voronenko, 1997):

- Os aços inoxidáveis austeníticos são aços cuja fase cristalina à temperatura ambiente é a austenite. Este tipo de aços existe sob diversas formas, consoante a quantidade de cromo, níquel e molibdénio existente. Os aços austeníticos são utilizados em maiores quantidades do que qualquer outra categoria de aço inoxidável. Este tipo de aços inoxidáveis apresenta uma resistência à corrosão superior aos aços ferríticos e martensíticos. O desempenho contra a corrosão pode ser variado para se adequar a um amplo conjunto de ambientes de serviço através do ajuste cuidadoso da quantidade e do tipo de elementos de liga. Estes são aços não-magnéticos e oferecem excelente conformabilidade e soldabilidade;
- Os aços inoxidáveis ferríticos são aços cuja fase cristalina à temperatura ambiente é a ferrite. Estes apresentam propriedades magnéticas, assim como boa ductilidade e boa conformabilidade. Estes aços são resistentes à corrosão sob tensão, corrosão atmosférica e oxidação;
- Os aços inoxidáveis martensíticos apresentam a martensite como fase cristalina à temperatura ambiente. Estes materiais podem ser aquecidos de forma equivalente aos aços convencionais, para fornecer um conjunto de propriedades mecânicas específicas, mas oferecem maior temperabilidade e possuem tratamentos térmicos distintos. A sua resistência à corrosão pode ser descrita como moderada, ou seja, o seu desempenho contra a corrosão é inferior a outros aços inoxidáveis. Estes aços são ferromagnéticos, com elevada dureza e resistência mecânica;
- Os aços inoxidáveis duplex são constituídos por uma mistura de ferrite e austenite, de forma a aproveitar as propriedades destas duas fases. Estes apresentam boa resistência à corrosão, mantendo uma elevada resistência mecânica. Normalmente são utilizados em aplicações específicas como a indústria química, do petróleo ou do gás (Mampuya et al., 2021).

Os aços ferramenta são, como o nome indica, aços destinados ao fabrico de ferramentas de qualquer tipo. Estes, podem conter ou não elementos de liga e são apropriados para o trabalho contínuo. Os aços ferramenta são criados de acordo com as qualidades necessárias para uma certa aplicação e caracterizam-se por terem elevada dureza, resistência ao desgaste e à temperatura, geralmente, com uma boa resistência ao impacto. A sua durabilidade é elevada e conseguem boa precisão no fabrico de ferramentas mesmo quanto sujeitos a elevadas forças e temperaturas. Os aços ferramenta podem ser divididos em vários tipos, sendo os mais comuns os aços rápidos, os aços para trabalho a quente, os aços para trabalho a frio e os aços para moldes das indústrias do plástico e do vidro. As principais aplicações incluem brocas, fresas, pastilhas de corte, ferramentas para estampagem, forjagem e extrusão, moldes para a produção de plásticos, vidro, borracha e metais (Pinto Soares, 2010).

2.2.4. Processos de fabrico

Na indústria de equipamentos agrícolas, tal como na indústria metalomecânica, existem diversos processos de conformação e tratamento de metais. As semelhanças entre estas duas indústrias são vastas, uma vez que a indústria das alfaias agrícolas tem por base a metalomecânica. Os processos utilizados para a transformação dos metais são diversos, tais como processos de corte, quinagem, soldadura, estampagem, prensagem ou maquinagem (Schlegel, 2023). A título de exemplo, as máquinas de corte de metal são equipamentos pesados que estão geralmente associados ao baixo valor agregado pela pequena quantidade de dispositivos tecnológicos incorporados.

Outro exemplo prende-se com a alteração de superfície, que é uma técnica flexível e eficaz para resolver os problemas tribológicos (atrito, desgaste e lubrificação), identificados em qualquer máquina (Khadem et al., 2017). Esta técnica melhora o desempenho tribológico através do aumento da dureza, alterando as características da superfície e diminuindo o coeficiente de atrito. Dada a existência de inúmeros processos de fabrico possíveis, a escolha do processo adequado torna-se de elevada importância para o fabrico do equipamento.

2.2.5. Protótipo e validação de equipamentos

As fases de testes e simulação de novos produtos são essenciais para a validação dos mesmos e normalmente implicam a criação de um protótipo. Para o projeto e validação de processos de fabrico, os fornecedores oferecem ambientes de simulação como o Dassault Systèmes DELMIA ou o Siemens PLM (*Product Lifecycle Management*). Estes *softwares* de simulação utilizam recursos de ponta para a planificação e validação de sistemas de fabrico complexos (Stark, 2020).

Assim, para a existência de um protótipo virtual de um sistema de fabrico, não apenas visual, mas que também inclua aspetos funcionais, é necessário associar um modelo interativo. O objetivo do programa é combinar o projeto mecânico, incluindo a cinemática, automação e comportamento físico, bem como o projeto PLC em ambiente de simulação (Lee et al., 2015).

Atualmente, durante a execução de um projeto estrutural é comum realizar a verificação estrutural por métodos numéricos como o método de elementos finitos, bem como utilizar a otimização topológica (OT). A OT tornou-se uma ferramenta importante no projeto de peças que estão sujeitas a cargas significativas (Mass & Amir, 2017). Estas técnicas consistem em métodos iterativos para explorar as várias soluções de projeto possíveis e, geralmente, resultam em componentes com formas orgânicas que imitam as estruturas naturais (Panesar et al., 2018).

2.3. Desenvolvimento de soluções inovadoras na agricultura

2.3.1. Caracterização e âmbito

A inovação e o desenvolvimento de novos produtos são uma constante nas mais diversas indústrias, incluindo a indústria de equipamentos agrícolas. O mercado exige frequentemente produtos mais distintos e a um preço cada vez mais competitivo. Neste sentido, a indústria necessita de superar os constantes desafios e manter a competitividade, o que exige elevados níveis de automação (Costa et al., 2018). Com a tendência crescente da personalização dos produtos, as quantidades a produzir em cada lote diminuem, o que coloca novos desafios à gestão de produção e à conceção de equipamentos (Rosa et al., 2018).

Neste contexto, a mecanização agrícola desempenha um papel essencial e tem como principal equipamento o trator. Projetados para empurrar/puxar instrumentos especiais (alfaias), de grandes ou pequenas dimensões, e especialmente adaptados ao trabalho em terra, os tratores são fundamentais para a atividade agrícola. Ao ser conectado a uma alfaia agrícola, um trator pode transferir potência por meio de uma força mecânica, através de conexões hidráulicas ou pneumáticas, devido à disponibilidade de óleo pressurizado e/ou ar comprimido. Para suportar as condições de trabalho pesadas, as máquinas agrícolas devem ser robustas e, ao mesmo tempo, não muito dispendiosas. Por esta razão, são utilizadas grandes quantidades de aço e ferro fundido na sua construção, aumentando o seu impacto ambiental (Martelli et al., 2023). O impacto relevante das emissões provenientes de máquinas agrícolas exigiu a introdução progressiva de regulamentações, cada vez mais rigorosas, sobre as emissões poluentes ao nível transnacional (Hagan et al., 2023). Estas diretivas impõem um limite de poluentes nas emissões de gases poluentes.

Atualmente, o movimento e controlo de alfaias agrícolas é cada vez mais levado a cabo por meio de sistemas eletrónicos. Estes permitem o manuseamento sem a realização de esforço físico relevante, através da ação de sistemas elétricos ou hidráulicos.

2.3.2. Soluções disponíveis no mercado

A agricultura moderna vive uma revolução impulsionada pelo avanço tecnológico e as alfaias agrícolas desempenham um papel crucial nesse cenário. Estas ferramentas são fundamentais para otimizar processos, aumentar a produtividade e garantir uma gestão eficiente das atividades no campo. Deste modo, os tratores adquirem um papel preponderante, pois são verdadeiras máquinas multifuncionais, que evoluíram significativamente nas últimas décadas e que permitem acoplar alfaias agrícolas dos mais diversos tipos. Equipados com sistemas de GPS, computadores de bordo e sensores avançados, estes veículos oferecem precisão nas operações, reduzindo o desperdício e maximizando a eficiência no cultivo da terra. A evolução na agricultura também passou por uma revolução tecnológica, e prova disso são as alfaias como grades, arados, semeadoras e máquinas de colher, que agora incorporam sensores e sistemas automáticos. As novas tecnologias permitem novidades como o controlo de sementes, aplicação de fertilizantes e até mesmo a adaptação das operações agrícolas às condições do

solo em tempo real. A utilização de drones na agricultura tem sido cada vez mais significativa e representa uma nova era na agricultura. Estas aeronaves não tripuladas sobrevoam os campos, registando dados através de câmaras de alta resolução e sensores infravermelhos. A automação também alcançou as etapas finais do processo de cultivo, já que robôs e máquinas autónomas desempenham um papel crescente na colheita, o que garante eficiência e reduz a dependência de mão de obra humana. Este último fator é particularmente importante em regiões onde a disponibilidade de trabalhadores agrícolas é limitada. Assim, as alaias agrícolas disponíveis no mercado representam um avanço notável na agricultura contemporânea. Ao combinar inovação e eficiência, estas ferramentas estão a moldar o futuro da produção de alimentos, proporcionando um equilíbrio entre produtividade, sustentabilidade e responsabilidade ambiental (Cardoso de Jesus & Peres, 2023).

2.3.3. Reboques agrícolas

Os reboques agrícolas são um tipo de alfaia agrícola utilizada para o transporte de cargas e são acoplados a tratores para tornar possível o seu movimento. Existem diversos modelos disponíveis no mercado, com uma grande variedade de tamanhos e com opção de um ou mais eixos. A Figura 6 demonstra um exemplo de reboque agrícola (da empresa Herculano).



Figura 6 - Exemplo de reboque agrícola

Em muitos países da União Europeia, os reboques agrícolas são fornecidos com sistemas de travagem, que podem ser pneumáticos ou hidráulicos. As regulações em vigor por parte da união europeia são exigentes e incidem sobre os dois tipos de sistemas. Os sistemas de travagem pneumática têm vindo a ganhar cada vez mais popularidade e, por exemplo, no Reino Unido, já são mais utilizados do que os sistemas de travagem hidráulica.

A combinação dos sistemas de um reboque com os dos tratores agrícolas, permitem a operação de sistemas de travagem eficientes, que garantem a segurança na deslocação. Os sistemas de travagem hidráulicos podem ser de linha simples ou dupla, enquanto os pneumáticos são de linha dupla. Os sistemas hidráulicos de linha simples são atualmente considerados obsoletos e apresentam poucas ou nenhuma medidas de segurança, para o caso de uma emergência. Assim, estes sistemas são normalmente vistos em reboques antigos ou de reduzidas dimensões, sendo que são proibidos pela legislação europeia de serem instalados em reboques que

circulem a velocidades superiores a 40 km/h. Os sistemas de linha dupla, hidráulicos ou pneumáticos, funcionam com base no mesmo princípio de utilizar uma linha para controlo e a outra para a atuação dos travões. Os sistemas hidráulicos normalmente apresentam algum atraso no tempo de atuação dos travões, o que faz dos sistemas pneumáticos o tipo mais seguro a utilizar (Scarlett Research Ltd, 2020).

Alguns estudos experimentais e de simulação de veículos agrícolas demonstraram que os tempos de resposta entre os sistemas pneumáticos do trator e do reboque, muitas vezes excedem o valor limite. A assincronia de funcionamento entre estes sistemas pode afetar o tempo de atuação dos travões e diminuir a eficiência do sistema de travagem (Yang et al., 2017).

2.3.4. Princípios de projeto e soluções para reboques

Com o objetivo de seguir as novas tendências mundiais de produção, a indústria de equipamentos agrícolas tem vindo a focar-se cada vez mais na versatilidade dos seus produtos, tanto no seu uso no campo, como na sua produção em fábrica. Como tal, uma nova geração de equipamentos tem sido projetada para adaptar os sistemas de produção e montagem à nova realidade, ou seja, às pequenas séries de grande número de produtos da mesma família. Estas novas metodologias de produção podem funcionar com uma tipologia da fábrica do tipo células de fabrico, dependendo somente das operações logísticas. Este novo conceito desenvolvido por meio de alguns estudos teve como ponto de partida a montagem de componentes para a indústria automóvel (Costa et al., 2018).

O projeto de reboques agrícolas é um trabalho complexo e muitas vezes demorado. Este envolve projetistas das mais diversas áreas e tem de ter em conta vários fatores, tais como:

- Tipo de carga destinado a transportar;
- Capacidade de carga e dimensões;
- Tipos de materiais a utilizar no fabrico;
- Eixos, suspensão e pneus;
- Design e acessórios;
- Estabilidade em movimento e sistemas de travagem;
- Regulações nacionais e/ou europeias.

Os equipamentos agrícolas fabricados atualmente são cada vez mais personalizados ao critério do cliente e os reboques agrícolas não são exceção. Estes são disponibilizados sob a forma de um modelo base, ao qual o cliente escolhe a adição dos opcionais que pretende. Os opcionais disponíveis podem ser dos mais diversos tipos, desde sistemas completos de ajuda ao movimento do reboque a simples acessórios de apoio ao agricultor. Alguns exemplos de opcionais comuns são sistemas hidráulicos independentes do trator, suspensão hidropneumática, sistemas de pesagem com controlo remoto, taipais suplementares, toldos de proteção da carga, caixa de ferramentas, entre outros.

2.3.5. Sistemas de apoio à manobrabilidade

Veículos de grandes dimensões, como tratores, reboques e semirreboques articulados caracterizam-se por terem dificuldade de manobrabilidade e trajetórias limitadas. Na agricultura, a grande distância entre os eixos do trator, bem como o comprimento do reboque, criam diversos problemas de mobilidade (Goordazi & Mohammadi, 2014). Estas grandes dimensões requerem maiores raios de viragem, que tornam o veículo impossível de manobrar em espaços mais pequenos. Acresce ainda o facto de a extremidade traseira do trator e do reboque não seguirem o caminho percorrido pela extremidade dianteira do trator. Este fenómeno é designado de *off-tracking* (de Saxe & Cebon, 2019).

Esta limitação torna os veículos articulados menos atrativos para o setor do transporte urbano e de mercadorias, especialmente porque as estruturas urbanas como os cruzamentos e rotundas obrigam a um espaço altamente limitado para a circulação. Para um trator com longa distância entre os eixos, a dirigibilidade das rodas traseiras pode reduzir o raio de viragem e aumentar a manobrabilidade. Para diminuir o raio numa curva, as rodas traseiras devem ser dirigidas na direção oposta às rodas dianteiras (Abrahám et al., 2019). A Figura 7 representa este tipo de mecanismo em funcionamento, com um exemplo de um sistema de manobrabilidade num automóvel.



Figura 7 - Exemplo de um sistema de manobrabilidade num automóvel (The Car Connection, 2017)

Para um semirreboque, que geralmente possui vários eixos não direcionais, em manobras bruscas a característica incontrolável do reboque causa um grande desvio na trajetória e cria igualmente grandes forças laterais nos pneus, que agravam o desgaste e danificam a superfície da estrada. Assim, para tornar o reboque dirigível, vários algoritmos de direção ativa e passiva foram propostos por diversos estudos científicos (Islam & He, 2011).

A forma tradicional de ligação entre o reboque e o trator é normalmente uma articulação passiva, apesar de este tipo de estrutura de articulação ter algumas desvantagens, como uma má manobrabilidade e difícil controlo. Tendo em consideração as deficiências do veículo articulado tradicional é necessário projetar uma nova estrutura para este tipo de veículos, no sentido de aumentar a adaptabilidade em ambientes complexos não estruturados, como a agricultura (Kassaeiyan et al., 2019). Relativamente a este aspeto, alguns estudos já se debruçaram sobre esta problemática e à melhoria destas estruturas relacionadas, como é o

caso de Li et al. (2016), que introduziu uma estrutura trator-reboque como melhoria da manobrabilidade do veículo. Todavia, revela-se muito complexo projetar os algoritmos de controlo para estas duas estruturas.

Na literatura foram propostas muitas abordagens para o controlo de um veículo com um ou vários reboques (Cariou et al., 2010). Contudo, a maioria destes algoritmos de controlo são centrados nas aplicações rodoviárias e não são adaptados ao contexto agrícola. Inicialmente, Lamiroux & Laumond (1998) consideraram o reboque como um robô virtual para o movimento e propuseram uma lei de controlo baseada no princípio de que as velocidades angulares e lineares do veículo e do reboque se encontram relacionadas.

2.3.6. Sistemas de redução de compactação de solos

Desde o final da década de 1960 que a indústria agrícola tem demonstrado um interesse cada vez maior nos efeitos da compactação do solo, nomeadamente no que concerne às práticas agrícolas, escoamento de água e sustentabilidade. Assim, a compactação resulta de qualquer prática que inclua o deslocamento no solo, pecuária (causada pelos animais) ou as práticas geotécnicas específicas como o rolamento, utilizado para compactar o solo na preparação para a construção (Reis et al., 2022).

A tecnologia progrediu na agricultura moderna de forma a integrar uma variedade de medidas que reduzem a compactação do solo, visto que esta provoca um impacto negativo na economia das operações agrícolas a longo prazo, pois diminui a quantidade e a qualidade da colheita. De facto, a compactação contínua do solo não permite que este recupere de forma sustentável por meios naturais (Chamen, 2015; Jamali et al., 2021).

Não obstante, a compactação do solo tem um impacto negativo porque afeta a segurança alimentar nas regiões onde a economia tradicional depende da agricultura. A qualidade de vida local e a saúde económica geral de uma região agrícola são afetadas negativamente quando os solos locais ficam compactados. Diversas soluções podem ajudar a minimizar este impacto, algumas provenientes da experiência do agricultor e que dependem do operador no campo, outras que são práticas gerais em todo o setor. Estas podem passar, por exemplo, pela passagem de um arado a grande profundidade ou pela plantação de espécies regeneradoras do solo. Diferentes investigadores modelaram o problema e analisaram o seu impacto económico (Blanco-Canqui & Jasa, 2019).

A compactação do solo é um fenómeno associado ao colapso do meio para suportar as cargas que lhe são impostas. Todas as operações agrícolas na superfície do solo causam compactação de alguma forma. As cargas pesadas por eixo, operações em solo húmido, pastoreio de gado e materiais armazenados podem resultar na compactação indesejada. A maior parte dos equipamentos agrícolas utiliza dois eixos para a distribuição da carga. Cada ponto de contacto transporta as cargas prejudiciais para o solo, pelo que o principal fator que deve ser considerado na redução da compactação do solo são as cargas admissíveis por eixo (Chamen, 2015).

Zabrodskyi et al. (2021) demonstrou que ter uma carga por eixo de 10 toneladas pode causar compactação profunda do subsolo em condições húmidas. As alfaias pesadas atrás dos tratores

umentam o problema da compactação, uma vez que a carga por eixo é determinada pelo peso total do veículo dividido pelo número de eixos.

2.3.7. Estado-da-arte

Na Tabela 1 estão apresentados os mais recentes trabalhos científicos desenvolvidos em torno das novas tecnologias na agricultura. O principal foco da inovação nos dias de hoje consiste na utilização de sistemas automatizados, como robôs e drones, que possam substituir a mão de obra humana e realizar as tarefas em menor tempo. A compreensão dos trabalhos apresentados permite perceber como a agricultura está numa fase de mudança, em que as tecnologias modernas têm cada vez mais relevância.

Tabela 1 - Trabalhos relevantes sobre as mais recentes tecnologias na agricultura

Autores	Descrição
Azmi et al. (2023)	Neste trabalho foi desenvolvido um robô agrícola de baixo custo com a função de semear novas plantações. O protótipo consistiu num pequeno veículo de quatro rodas utilizado como plataforma móvel, ao qual foi acoplado um mecanismo de injeção de sementes, do tipo manivela deslizante. Todo o projeto foi modelado em SolidWorks. A estrutura do veículo foi construída em alumínio, enquanto os componentes do sistema de injeção de sementes foram impressos a três dimensões em PLA. No total foram utilizados cinco motores DC, um em cada roda e um no mecanismo de injeção de sementes. Nos testes realizados o robô plantou 138 sementes em 5 minutos com uma precisão posicional de 92%. Estes resultados representam um aumento de eficiência de 35% em relação à mão de obra humana.
Hu et al. (2019)	O objetivo deste trabalho consistiu na implementação de um sistema de direção automática num trator autónomo, cuja falta de precisão afeta a navegação. Os autores criaram um modelo matemático de um cilindro hidráulico controlado por uma válvula e no qual utilizaram um controlador PID para o controlo das rodas, que foi posteriormente implementado. Os testes realizados demonstraram que em linha reta o erro da direção não é superior a $0,391^\circ$ e que o desvio associado não ultrapassa os 5,98 cm. Os dados obtidos provam que é possível implementar o sistema desenvolvido num trator de navegação autónoma.

Tabela 1 - Trabalhos relevantes sobre as mais recentes tecnologias na agricultura
(continuação)

Asha et al. (2023)	Os autores desenvolveram um sistema capaz de utilizar IoT para monitorizar dados ambientais como a temperatura, a humidade do ar e a humidade do solo. Para tal foram usados sensores conectados a uma placa de Arduino, que envia os dados para um servidor, através de uma plataforma NodeMCU. Os dados obtidos são processados e analisados através de <i>machine learning</i> , que faz previsões sobre quais as melhores decisões a tomar na gestão de recursos (nomeadamente água), no controlo de pestes, na optimização de recursos energéticos e no controlo das plantações. As soluções apresentadas permitem aos agricultores tomar decisões baseadas em dados reais, com o objetivo de obter a melhor colheita possível, com o mínimo de impacto ambiental.
Lee et al. (2021)	Os autores desenvolveram um drone com o propósito de pulverizar plantações agrícolas. Este aparelho foi criado de raiz através de diferentes programas incluindo o SolidWorks, usado na modelação, o MATLAB, utilizado na simulação de voo, e o Ansys Fluent, usado para medir a velocidade do fluido à saída do pulverizador. As simulações realizadas permitiram a construção de um protótipo virtual e o estabelecimento das ligações entre os componentes. Pela análise da mecânica de fluidos, o pulverizador conseguiu manter uma velocidade de saída do fluido de 10,40 m/s, o que foi considerado adequado para a aplicação em causa.
Huang et al. (2022)	Os autores desenvolveram um novo método de deteção de cor especificamente para drones a utilizar na agricultura de precisão. Este novo método visa atenuar o problema que os mecanismos de deteção atuais enfrentam quando não têm correspondências semânticas entre a imagem de referência e a imagem a analisar. O mecanismo proposto suprime a distorção entre os pixels sem correspondência semântica. A melhoria na deteção de color é conseguida através de uma coloração foto-realística progressiva, que preserva os detalhes estruturais da imagem. O sistema foi testado em diferentes culturas, incluindo arroz, feijão e algodão, e demonstrou ser superior aos sistemas atuais.

3. Desenvolvimento

3.1. Caracterização da entidade acolhedora

A Herculano Alfaias Agrícolas S.A. é uma empresa com mais de cinquenta anos de experiência no fabrico de equipamentos para a agricultura. Situada na zona industrial de Loureiro, no concelho de Oliveira de Azeméis, distrito de Aveiro, a empresa teve sua origem em 1969, quando a família Lopes iniciou a fabricação de pequenos utensílios agrícolas numa modesta oficina.

A empresa foi crescendo ao longo do tempo, de forma a acompanhar as exigências do mercado, até que em 1982 realiza a sua primeira exportação. No ano de 1986 a Herculano é oficialmente reconhecida como empresa líder no fabrico e comércio de semirreboques agrícolas, estatuto que assume a nível nacional até aos dias de hoje. A empresa tem projetos maioritariamente centrados na área da agricultura, com elevado foco na indústria metalomecânica e os seus principais produtos são reboques agrícolas e cisternas de todas as dimensões, espalhadores, fresas, grades rotativas, grades de discos e algum equipamento de exploração florestal.

No ano de 1997 o Grupo Ferpinta S.G.P.S., S.A. adquire 80% da Herculano, oferecendo à empresa uma nova visão estratégica e dinâmica financeira. No ano de 2005 o grupo adquire a cota restante da empresa e passa a deter 100% do capital. Graças às parcerias com o Grupo Ferpinta, a Herculano aumentou a sua atividade, e encontra-se atualmente presente em diversos mercados externos, nomeadamente a Nova Zelândia, Dinamarca, Angola, Moçambique, Canadá, Austrália, França e Bélgica (Ferpinta, 2025).

A Herculano é uma empresa com elevado foco em evolução e os produtos que fabrica são resultado de vários anos em busca das melhores soluções disponíveis no mercado. A empresa rege-se por valores éticos e morais e tem como principal missão proporcionar aos agricultores soluções fiáveis, eficientes e sustentáveis, para a sua atividade. Este *know-how* reconhecido da Herculano já permitiu a realização de parcerias com marcas de renome mundial, tais como a John Deere, Liebherr, Terex-PPM e Sercel (Herculano, 2025b).

3.2. Metodologia

A metodologia DSR, utilizada para a realização deste trabalho, centra-se na procura de conhecimento por forma a desenvolver e aplicar novas soluções para problemas já existentes, de modo eficiente (Antunes et al., 2022). Na realização deste projeto, esta metodologia serviu

Desenvolvimento

de base à aplicação de novas tecnologias ligadas à agricultura, que já existem em alguns países da Europa, nomeadamente Alemanha e Itália. Na Tabela 2 constam as diferentes etapas da metodologia DSR.

Tabela 2 - Etapas da metodologia DSR (Geerts, 2011)

Etapas	Descrição
Etapa 1 – Identificação do problema	Análise da atual situação / identificação do problema e/ou análise dos pontos fracos
Etapa 2 – Definição de objetivos	Verificação da exequibilidade do projeto e identificação de tecnologias/métodos e literatura que suportem o desenvolvimento de objetivos
Etapa 3 – Design e desenvolvimento	Aplicação de métodos e tecnologias com vista à criação de um artefacto que solucione o problema
Etapa 4 – Demonstração	Implementação / montagem do artefacto desenvolvido e conhecimento da sua utilização
Etapa 5 – Avaliação da solução	Avaliação da solução encontrada para o problema através de potenciais métricas
Etapa 6 - Conclusões	Análise da aplicabilidade da solução encontrada e definição de potenciais pontos de melhoria

Inicialmente, definiram-se as melhorias a implementar nas alfaias Herculano de maior dimensão, tais como reboques e cisternas, de acordo com os avanços tecnológicos mais recentes. Com esse objetivo, foi previamente efetuada uma pesquisa de mercado para conhecer o que oferecem os concorrentes da Herculano no estrangeiro, relativamente a sistemas de auxílio à mobilidade de veículos de grandes dimensões e no combate à compactação do solo (etapa 1). Posteriormente, foram identificadas duas tecnologias distintas que são do interesse da empresa para futura implementação: o sistema direcional forçado eletrónico e o sistema de controlo de pressão dos pneus. Ambas têm como objetivo a redução da compactação dos solos (etapa 2). O desenvolvimento das novas tecnologias passou pelo estudo das soluções delineadas e dos requisitos de ambas, pela verificação de todos os componentes encomendados e pelo planeamento da disposição destes nas alfaias em que seriam implementados (etapa 3). De seguida, procedeu-se à implementação das duas tecnologias em duas cisternas diferentes (etapa 4) e avaliou-se o desempenho das novas soluções (etapa 5). Por fim, retiraram-se as conclusões da aplicabilidade dos sistemas e possíveis melhorias a efetuar (etapa 6).

3.3. Objetivos e requisitos

À medida que a tecnologia avança no setor agrícola, as empresas fabricantes de equipamento nesta indústria são obrigadas a atualizar os seus processos e produtos disponibilizados aos clientes. Com esta visão em mente, a Herculano estabeleceu como meta ser pioneira em Portugal, na implementação das mais recentes tecnologias disponíveis em alfais agrícolas.

Neste sentido iniciaram-se dois projetos de inovação, que seriam aplicados em reboques agrícolas e cisternas. Estes dois projetos, que constituem o objetivo deste trabalho, consistem num sistema de apoio à manobrabilidade e um sistema de controlo da pressão dos pneus. Estes novos elementos irão ser disponibilizados como novos opcionais no catálogo de produtos, sendo que não exigem nenhuma adaptação relevante nos processos de fabrico de produtos e podem ser aplicados de imediato.

Os sistemas de apoio à manobrabilidade já existem nos produtos Herculano sobre diversas formas. O método mais comum em alfais de grandes dimensões é o sistema direcional forçado, cujo funcionamento é puramente mecânico, fazendo uso de um cilindro hidráulico de grandes dimensões conectado ao trator. O primeiro projeto descrito neste trabalho teve como objetivo a implementação da nova tecnologia de sistema direcional forçado eletrónico. Esta recente tecnologia tem algumas vantagens em relação ao sistema direcional forçado convencional, explicadas mais adiante. O seu princípio de funcionamento baseia-se num conjunto de sensores que recolhem informação para um controlador central, que por sua vez dirige as rodas como pretendido, através de um sistema hidráulico. O sistema necessita de eixos preparados de fábrica, onde possa ser implementado e de conhecimento por parte do cliente sobre como o calibrar e utilizar.

Os sistemas de controlo da pressão dos pneus são uma tecnologia recente, cada vez mais utilizada na indústria agrícola, que tem como principal objetivo reduzir a compactação dos solos causada pelas rodas de um trator ou reboque. A compactação dos solos é um problema por vezes negligenciado pelos agricultores, mas com sérias consequências negativas como a retenção de água na superfície e a perda de produtividade. Os sistemas de controlo da pressão dos pneus têm a capacidade de encher e esvaziar os pneus, a qualquer momento, e conforme o local onde o trator ou reboque está a transitar. Assim, é possível adaptar a área de contacto da superfície do pneu com o solo, o que em solo agrícola se traduz numa menor pressão sobre o solo, ou seja, menor compactação. Para o seu funcionamento, o sistema necessita de um compressor e pneus apropriados às pressões utilizadas. Normalmente observados em produtos de empresas agrícolas estrangeiras, os sistemas de controlo da pressão dos pneus tornaram-se importantes para a Herculano, que pretendeu ser pioneira na implementação destes sistemas numa alfaia em Portugal. Desta forma, surgiu o segundo projeto de inovação, descrito na segunda parte deste trabalho.

3.4. Sistema de apoio à manobrabilidade

3.4.1. Caracterização do sistema a estudar

Os sistemas de manobrabilidade são sistemas mecânicos ou eletrônicos que têm como função o auxílio ao movimento de veículos de grandes dimensões. Estes são usualmente observados em reboques de caminhões de estrada que, por terem grande comprimento e vários eixos traseiros, fazem uso destes sistemas em manobras em espaço reduzido e curvas de menor ângulo. Uma outra área de grande aplicação destes sistemas é a agricultura. Hoje em dia, as alfaías agrícolas, reboques e outros engenhos de trabalhar o solo, apresentam grandes dimensões, de forma a tornar o mais eficiente possível o trabalho de campo, pelo que faz sentido o uso destas tecnologias. Na Figura 8 pode-se observar um exemplo de uma alfaía agrícola a utilizar um sistema de apoio à manobrabilidade, visível na rotação lateral das rodas traseiras do reboque.



Figura 8 - Exemplo de sistema de apoio à manobrabilidade (Amazona, 2024)

Os sistemas de apoio à manobrabilidade oferecem diversas vantagens quando aplicados, especialmente em veículos de grandes dimensões. As principais vantagens destes sistemas incluem:

- Maior manobrabilidade;
- Menor desgaste dos pneus;
- Menor consumo de combustível;
- Menor arrastamento dos pneus;

- Menor desnivelamento dos terrenos devido ao arrastamento dos pneus;
- Melhores colheitas.

Assim, os reboques, monocoques e cisternas vendidos atualmente com dois ou mais eixos possuem, normalmente, um sistema de apoio à manobrabilidade. Na Figura 9 é possível observar um exemplo de cada tipo de alfaia.



Figura 9 - Exemplo de alfaias Herculano: monocoque (a), cisterna (b) e reboque (c) (Herculano, 2024a)

A diferença entre um reboque e um monocoque reside na distribuição do seu peso. Um monocoque engata a um trator, distribuindo o peso pelo eixo ou eixos traseiros e pelo apoio no trator, enquanto um reboque distribui o seu peso por um ou mais eixos traseiros e um eixo dianteiro giratório. Para efeitos de simplicidade, ao longo deste trabalho a palavra reboque diz respeito tanto a reboques como a monocoques. Na indústria de alfaias agrícolas, os reboques e cisternas têm como base três tipos de eixos e três tipos de suspensões. Os eixos podem ser fixos, autodirecionais ou forçados, enquanto as suspensões podem ser do tipo *bogie*, *tandem* ou *tridem*. Os eixos fixos (Figura 10) são os menos complexos e baseiam-se numa estrutura simples de ligação de duas rodas que giram livremente sem existir movimentação lateral (não são direcionais). Esteticamente, estes eixos são reconhecidos por consistirem num tubo simples que liga dois cubos rotativos. Esta configuração é comumente usada em reboques e cisternas de um eixo, de pequenas dimensões.



Figura 10 - Eixo fixo num reboque Herculano

Um outro tipo de eixos normalmente utilizados são os eixos autodireccionais. Estes consistem em eixos que acompanham o movimento direccional do reboque e reduzem substancialmente a largura de trajetória do veículo numa curva. As rodas possuem capacidade de se movimentarem lateralmente, o que permite reduzir o arrastamento dos pneus e, conseqüentemente, o seu desgaste. Não existe qualquer tipo de força exercida nos eixos, que podem oscilar livremente, de forma a mudar de direcção (eixos autodireccionais). Os eixos autodireccionais são normalmente usados em reboques de dois eixos ou mais, onde o posicionamento dos eixos autodireccionais não é indiferente. No caso de um reboque de dois eixos, o eixo autodireccional é sempre o traseiro, sendo o dianteiro fixo. Em reboques de três eixos, os eixos autodireccionais são o primeiro e o terceiro, sendo o do meio fixo. Na Figura 11 é possível visualizar um exemplo de uma manobra de um reboque de três eixos. Como é possível observar, o eixo dianteiro (1°) e o eixo traseiro (3°) são autodireccionais e giram em direcções opostas, de forma a acompanhar o movimento do conjunto. Apesar de ser autodireccional, este sistema necessita ainda de um circuito hidráulico associado. Este é utilizado para “trancar” os eixos (alinhar a zero graus) e é acionado em três situações: sempre que o operador quiser alinhar as rodas, quando quiser fazer marcha atrás com o reboque ou quando o reboque atingir uma velocidade igual ou superior a 15 km/h, sendo esta última uma precaução de segurança. A Figura 12 demonstra um eixo autodireccional, com destaque para os cilindros de bloqueio das rodas e respectivas mangueiras, assim como um tirante conectado com as duas rodas que assegura que ambas rodam em igual proporção. Existe ainda um amortecedor para a absorção de impactos.



Figura 11 - Funcionamento de reboque autodirecional de três eixos (Herculano, 2024b)



Figura 12 - Eixo autodirecional num reboque Herculano

Os eixos direcionais forçados caracterizam-se por utilizarem um sistema hidráulico que força as rodas a girar lateralmente, conforme o movimento do trator. Na Figura 13 pode-se observar o acoplamento utilizado neste tipo de direção. Para além do argolão (ver glossário) de engate ao trator (a preto) existe um cilindro hidráulico ligado ao trator (a cinzento), com uma distância normalizada de 250 mm entre o centro do mesmo e o centro do argolão. Este cilindro faz funcionar o sistema hidráulico da direção forçada que, tal como se observa na Figura 14, é composto por um cilindro de duplo efeito que força as rodas a girar lateralmente. O sistema pode ser aplicado em reboques com mais de um eixo direcional. Tal como os eixos autodirecionais, os eixos forçados são aplicados no eixo traseiro, caso se trate de um reboque de dois eixos, ou no primeiro e terceiro eixo, caso sejam três. Devido ao acoplamento mecânico, não existe qualquer tipo de sistema que permita bloquear os eixos. A manobra de marcha atrás é também mais facilitada pois o cilindro faz as rodas girarem na direção correta para a manobra.



Figura 13 - Cilindro de direção forçada num reboque Herculano



Figura 14 - Eixo de direção forçada num reboque Herculano

Os diferentes tipos de suspensões utilizadas em alfaia agrícolas baseiam-se no tipo de terreno a que estas estão destinadas e no número de eixos. As suspensões do tipo *bogie* consistem em dois eixos ligados por uma suspensão do tipo mola de lâmina. Estas são apropriadas a pisos irregulares, quer na estrada, quer em terrenos agrícolas, visto que graças ao seu *design*, as rodas estão em contacto permanente com o chão, reduzindo as oscilações laterais da alfaia. A meio das molas existe um ponto de conexão ao chassi. Na Figura 15 pode-se observar um exemplo de uma *bogie*.

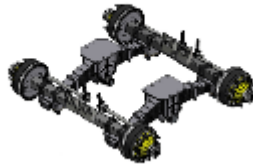


Figura 15 - Suspensão *bogie* (Herculano, 2024b)

Outro tipo de suspensão utilizada em reboques e cisternas de dois eixos são as suspensões *tandem*. Estas são mais indicadas para percursos longos em terrenos e estradas de bom piso. Com menos capacidade de absorção de impactos do que as suspensões *bogie*, as *tandem* caracterizam-se por terem os eixos conectados no centro das suas próprias molas. Na Figura 16 é possível observar um exemplo de uma suspensão *tandem*.

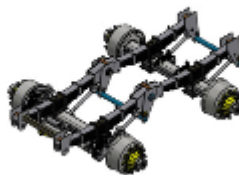


Figura 16 - Suspensão *tandem* (Herculano, 2024b)

Por fim, o terceiro tipo de suspensão existente é a suspensão *tridem*. Esta é utilizada em reboques e cisternas de três eixos, cujas dimensões e capacidade de carga são superiores, pelo que o peso deve ser distribuído por mais eixos (Figura 17).



Figura 17 - Suspensão *tridem* (Herculano, 2024b)

3.4.2. Problemas existentes

A implementação de um sistema direcional eletrónico em substituição do sistema direcional mecânico tradicional pode ser vista como uma evolução tecnológica, que oferece algumas vantagens. O sistema direcional mecânico tem um princípio de funcionamento simples, pelo que apresenta algumas limitações, designadamente, a dependência do movimento do trator para que as rodas do reboque assumam uma direção. Em manobras exigentes, com raios de curvatura reduzidos, este aspeto pode assumir uma grande importância. Este sistema é superado pelos sistemas direcionais eletrónicos pela possibilidade de controlar os eixos de

forma independente do trator. Outra particularidade a ter em conta nas manobras com sistemas direcionais forçados tradicionais é o facto de a roda do trator do lado de dentro da curva poder embater no cilindro hidráulico do sistema direcional. Isto pode acontecer em manobras mais apertadas caso o condutor do trator não tenha esse cuidado. Nos sistemas direcionais eletrónicos o cilindro hidráulico deixa de existir, o que elimina a possibilidade de tal choque acontecer.

3.4.3. Anteprojeto

Desde o aparecimento inicial de sistemas direcionais eletrónicos no mercado de reboques agrícolas, a Herculano estabeleceu o objetivo de introduzir a tecnologia de controlo elétrico-hidráulico da direção das rodas nas suas alfaias. Esta recente tecnologia, designada por direcional forçado eletrónico (DFE), vem substituir o controlo mecânico-hidráulico usado em direcionais forçados convencionais (DFC), tal como o demonstrado na Figura 13 e na Figura 14. O seu funcionamento está baseado em sensores eletrónicos, que fornecem informação a uma unidade central de processamento de forma constante. Por sua vez, esta comanda um distribuidor hidráulico que movimenta as rodas lateralmente, alterando a sua direção. O sistema DFE pode ser aplicado em qualquer situação onde é aplicado um direcional forçado convencional, quer seja num reboque ou cisterna, com um ou vários eixos e de qualquer dimensão. Os eixos a aplicar têm de ser previamente preparados para incorporar os sensores elétricos e cilindros hidráulicos necessários. A aplicação de um sistema de manobrabilidade num reboque ou cisterna oferece diversas vantagens. O sistema DFE distingue-se do DFC pelo modo de controlo dos eixos e nos comandos dados pelo operador. Na Tabela 3 encontram-se as principais diferenças entre os dois sistemas.

Tabela 3 - Diferenças entre os sistemas DFC e DFE

DFC	DFE
Necessita do cilindro hidráulico conectado ao trator	Elimina o cilindro hidráulico paralelo à lança (ver glossário)
Movimento das rodas é sempre dependente do movimento do trator	Possibilita o controlo manual do(s) eixo(s)
Não tem qualquer sensor	Necessita de sensores
O bloqueio dos eixos é feito pelo tratorista, ao pressionar um botão na cabine, quando a velocidade aumenta	O bloqueio dos eixos é automático quando atingida a velocidade de segurança
Mais barato	Mais caro

O sistema DFE existirá na Herculano como um novo opcional, sendo que é o cliente que decide, aquando da compra, se o pretende, se pretende um sistema DFC, ou outro tipo de eixo/eixos não direcional/direcionais. A primeira fase da implementação do novo sistema de direção forçada consistiu na análise das propostas existentes. Consideraram-se aspetos tais como o

modo de funcionamento do sistema, vantagens, desvantagens, custo, entre outros. No final, foi efetuada a escolha de qual sistema a implementar.

3.4.3.1. Solução 1

A primeira opção analisada para a nova direção forçada eletrónica foi o sistema *SmartDrive*, da empresa ADR. Esta marca italiana é uma renomeada fabricante de eixos, sistemas de travagem e suspensões, com especialização em equipamentos agrícolas e industriais. Com presença a nível global e com mais de sessenta anos de história, a ADR é uma das principais empresas no desenvolvimento de novas tecnologias na área dos eixos. Com um historial de fornecimento de longa data à Herculano, o sistema direcional forçado eletrónico da ADR foi apresentado ao departamento de investigação e inovação, com o intuito de aplicar em reboques e cisternas. O *SmartDrive* utiliza dois sensores de ângulo e um de velocidade, conectados a uma unidade de processamento, para comandar os eixos que são direcionais. O sistema oferece diversos modos de operação, incluindo um modo de estrada e um modo manual. Os eixos são especiais e precisam de vir preparados de fábrica com os devidos sensores. Na Figura 18 é possível observar o sistema no folheto promocional da ADR.



Figura 18 - Poster de promoção do sistema *SmartDrive* da ADR (ADR, 2024)

Uma das principais preocupações tidas em conta com este sistema foi a ligação do sensor frontal ao trator. Na apresentação realizada por parte da ADR, foram apresentadas duas opções para a instalação deste componente, dependentes do trator a utilizar.

3.4.3.2. Solução 2

O segundo sistema de direção forçada eletrónica avaliado foi o *SmartTronic*, da empresa alemã Hydac. Este grupo internacional, com mais de cinquenta anos de experiência, é conhecido por ser especialista em sistemas hidráulicos e pelos produtos que fabrica. Com elevado foco em inovação, a Hydac é uma das principais empresas criadoras de tecnologia na área de engenharia de fluidos, a nível mundial. No sentido de conhecer melhor o sistema DFE desta empresa, foi marcada uma reunião presencial na Herculano, que contou com a presença do representante da Hydac em Portugal, com um engenheiro alemão, projetista na sede da empresa na Alemanha e com todo o departamento de investigação e inovação da parte da Herculano. Com a mesma finalidade do sistema DFE da ADR, o sistema da Hydac apresenta um modo de funcionamento diferente. O sistema é igualmente constituído por um circuito elétrico e por um circuito hidráulico, sendo que a grande diferença são os sensores. O circuito elétrico do *SmartTronic* não possui um sensor de ângulo conectado ao trator na dianteira (como o *SmartDrive*), mas sim um giroscópio que deteta qualquer mudança de direção do reboque. Estas deteções de movimento ativam o(s) cilindro(s) hidráulico(s), que muda(m) a direção das rodas e a trajetória do veículo, conforme os sinais recebidos do sensor. O facto de não existir uma ligação ao trator para um sensor de ângulo é uma grande vantagem, visto que não existe qualquer norma para as ligações deste tipo de sistemas de direção. Normalmente, os sistemas que necessitam de uma ligação mecânica acabam por ser adaptados de forma artesanal pelo proprietário do trator. Contudo, este sistema tem um custo acima da média, devido ao preço do sensor giroscópio. Na Figura 19 pode-se observar a descrição visual do sistema *SmartTronic* da Hydac.



Figura 19 - Poster de promoção do sistema *SmartTronic* da Hydac (Hydac, 2024)

3.4.3.3. Escolha da solução a implementar

Com as duas propostas apresentadas, procedeu-se a uma fase de análise e discussão de qual a melhor a implementar. Para tal, utilizou-se uma análise SWOT para definir os pontos fortes e fracos de cada sistema. A ferramenta analítica SWOT tem o significado descrito na Tabela 4. A análise SWOT encontra-se na Tabela 5 e demonstra para cada um dos sistemas estudados, os pontos fortes, fracos, oportunidades de melhoria e potenciais ameaças.

Tabela 4 - Significado de análise SWOT (Gürel, 2017)

S (Strengths) Pontos Fortes	W (Weaknesses) Pontos Fracos	O (Opportunities) Oportunidades	T (Threats) Ameaças
Pontos fortes e/ou características vantajosas que facilitam o alcance dos objetivos	Pontos fracos ou pontos de potencial melhoria	Fatores externos que influenciam positivamente o alcance dos objetivos	Fatores externos que comprometem o alcance dos objetivos delineados

Tabela 5 - Análise SWOT ao caso do sistema direcional forçado

Pontos Fortes		Pontos Fracos	
<i>SmartDrive</i>	<i>SmartTronic</i>	<i>SmartDrive</i>	<i>SmartTronic</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Implementação imediata; • Qualidade do produto; • Conhecimento prévio da empresa fornecedora; • Baixa exigência de manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação imediata; • Qualidade do produto; • Não necessita de adaptação a diferentes tratores; • Empresa reconhecida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necessária adaptação a diferentes tratores; • Sensor de ângulo da lança exposto e sujeito a forças externas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado custo.
Oportunidades		Ameaças	
<i>SmartDrive</i>	<i>SmartTronic</i>	<i>SmartDrive</i>	<i>SmartTronic</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Herculano ser pioneira no país a implementar um sistema DFE; • Conquista de novos mercados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Herculano ser pioneira no país a implementar um sistema DFE; • Conquista de novos mercados; • Criação de relações comerciais com nova empresa fornecedora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado externo a produzir a mesma solução; • Dificuldade em obter confiança dos clientes pela novidade do produto; • Avanços tecnológicos de outras empresas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado externo a produzir a mesma solução; • Dificuldade de confiança dos clientes pela novidade; • Preferência dos clientes por soluções mais baratas.

Após a análise das diferentes propostas, a escolha do sistema direcional forçado eletrónico a implementar recaiu sobre o *SmartDrive* da ADR. Esta escolha deveu-se a vários motivos, sendo um deles o facto de já existir uma duradoura relação comercial entre as duas empresas e uma rede de contactos estabelecida, que facilita a aquisição do material. Outro fator diferenciador reside na baixa exigência de manutenção do sistema *SmartDrive*, cujo único acompanhamento direto é a adição de massa lubrificante no sistema com pouca regularidade. No que diz respeito à montagem, esta pode ser efetuada de forma direta sem necessidade de adaptação do funcionamento da fábrica. Os técnicos responsáveis pela montagem também não necessitam de formação ou treino específico para proceder à montagem do sistema e podem fazê-lo de forma autónoma. Apesar de o sistema *SmartTronic* da *Hydac* ter potencial para ser aplicado, o principal diferenciador entre ambos os sistemas é o elevado custo do sistema *SmartTronic*, o que fez recair a decisão sobre o sistema *SmartDrive*, como o melhor sistema a implementar pela Herculano.

3.4.4. Projeto

Tomada a decisão de qual o sistema a implementar, iniciou-se a fase de projeto. O protótipo a construir consiste numa cisterna de dois eixos, com uma suspensão do tipo *tandem* e com capacidade para vinte e dois mil litros. O eixo traseiro é direcional e o dianteiro fixo. A cisterna é designada como CH 22000 RG, segundo a classificação Herculano, e dispõe ainda de diversos acessórios, tais como bombas, adufas (ver glossário) para a saída do líquido, um agitador interno, entre outros. A implementação do sistema direcional forçado eletrónico incluiu uma primeira fase de planeamento do sistema, seguida pela construção na cisterna protótipo.

3.4.4.1. Descrição da solução final

Para implementar o sistema direcional forçado eletrónico, fornecido pela ADR, foi necessário compreendê-lo primeiro. O sistema corresponde ao apresentado na Figura 18, mas adaptado à cisterna da Herculano. O *SmartDrive* é composto por um circuito elétrico e por um circuito hidráulico, constituídos por diversos componentes, e ambos ligados ao trator. O sistema faz uso de três sensores para o seu funcionamento: um sensor de ângulo na frente da cisterna, um sensor de velocidade instalado no eixo fixo e um sensor de ângulo no eixo direcional. Enquanto o sistema está ativo, os sensores encontram-se ligados de forma permanente, para o envio de informação à unidade de controlo (ECU), que comanda o circuito hidráulico. O equipamento constituinte do sistema é apresentado na Figura 20 e respetiva legenda na Tabela 6.

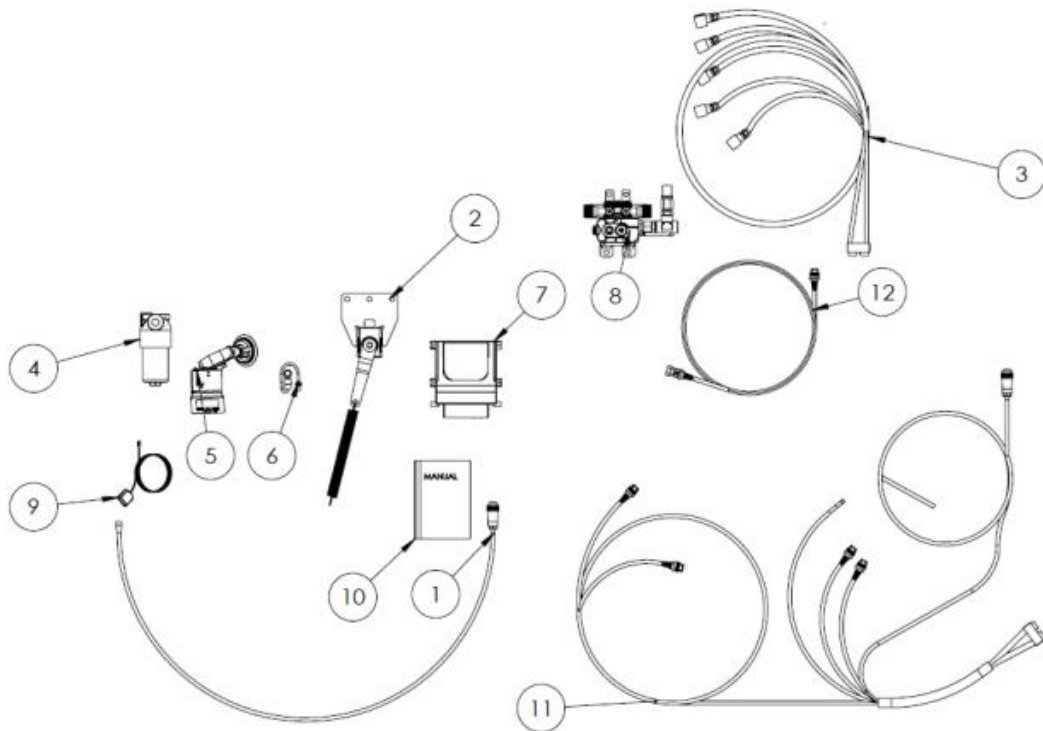


Figura 20 - Imagem representativa dos componentes do sistema *SmartDrive* (ADR, 2023a)

Tabela 6 - Equipamento do sistema *SmartDrive* associado à Figura 20

Item	Quantidade	Descrição
1	1	Cabo de energia de conexão ao trator
2	1	Sensor de ângulo da lança
3	1	Cabo com válvulas solenóide
4	1	Filtro do óleo
5	1	Painel de controlo
6	1	Cabo do painel de controlo
7	1	ECU
8	1	Distribuidor hidráulico
9	1	Antena GPS (consoante encomenda)
10	1	Manual de utilização
11	1	Cabo dos sensores
12	1	Extensor do sensor de velocidade

À medida que o trator descreve uma curva, o sensor de ângulo da lança (Figura 21) envia a informação para a unidade de controlo. Esta informação é recolhida através da variação de amplitude da peça de alumínio conectada ao trator (a cinzento). A ECU, por sua vez, comanda o distribuidor hidráulico que força o cilindro do eixo direcional e gira as rodas lateralmente.



Figura 21 - Sensor de ângulo da lança: vista superior (a) e vista inferior (b)

3.4.4.2. Eixos e suspensão

Os eixos utilizados no projeto não são eixos de catálogo normalmente usados. O sistema *SmartDrive* utiliza eixos especiais, modificados aquando da sua construção para incorporar furos e sensores necessários ao funcionamento do sistema. Os dois eixos desta cisterna, tanto o fixo, como o direcional, têm de ser adaptados. Durante a construção dos eixos é instalado o sensor de velocidade dentro do cubo rotativo do eixo fixo. No eixo direcional, o sensor de ângulo traseiro é instalado na rótula de um dos tirantes usados para direcionar as rodas. A cisterna em causa foi também encomendada com travagem pneumática de emergência, pelo que os eixos foram também preparados para tal. Na Figura 22 é possível observar os eixos recebidos.



Figura 22 - Eixos ADR utilizados na cisterna preparados para o sistema *SmartDrive*

Após a chegada dos eixos procedeu-se à construção da suspensão. Esta consiste numa *tandem*, de dois eixos, e na Figura 23 é possível observar a sua construção.



Figura 23 - Construção da suspensão

Os desenhos técnicos dos eixos ADR utilizados encontram-se em anexo, sendo o eixo fixo correspondente ao anexo A e o eixo direcional ao anexo B.

3.4.4.3. Modelo tridimensional da cisterna e dos seus componentes

Uma etapa importante na conceção da cisterna foi o dimensionamento e localização dos seus componentes. Para tal, procedeu-se à modelação em Solidworks dos novos componentes e verificou-se, no desenho completo da cisterna, qual a sua posição ideal. Os elementos modelados foram o bloco distribuidor hidráulico, o sensor angular dianteiro, a unidade de controlo e o filtro do óleo. Estes são os componentes de maior dimensão que requereram modelação, para verificação da sua posição na cisterna. Componentes como cabos e ligações elétricas não foram desenhados. Os modelos tridimensionais dos eixos foram facultados pelo fornecedor e adicionados ao desenho completo da cisterna em Solidworks. Na Figura 24, Figura 25, Figura 26 e Figura 27 pode-se observar, respetivamente, o bloco distribuidor, o sensor, a ECU e o filtro do óleo.

Desenvolvimento

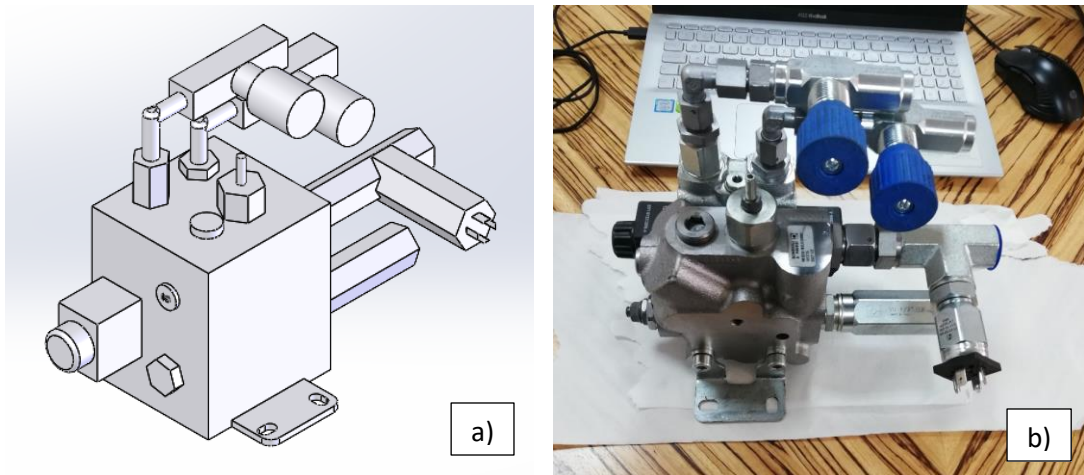


Figura 24 - Desenho 3D (a) e imagem real do bloco hidráulico (b)

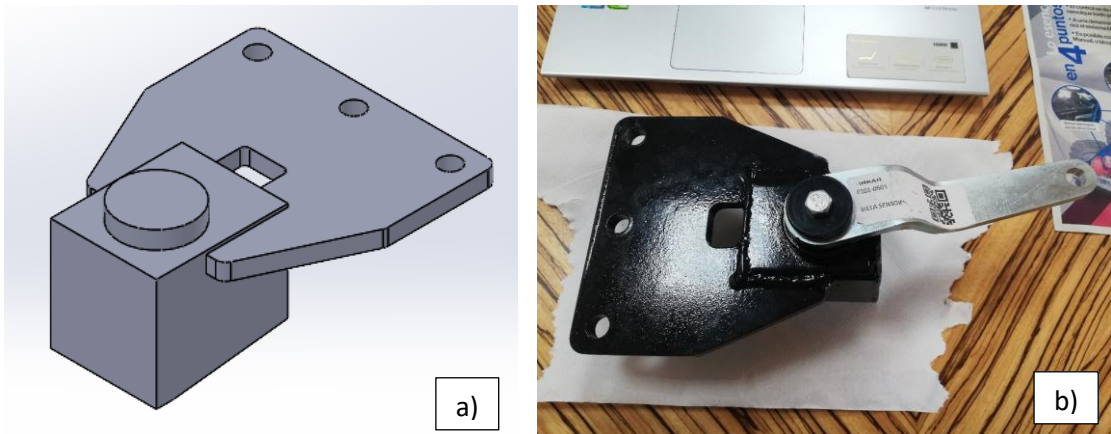


Figura 25 - Desenho 3D (a) e imagem real do sensor angular dianteiro (b)

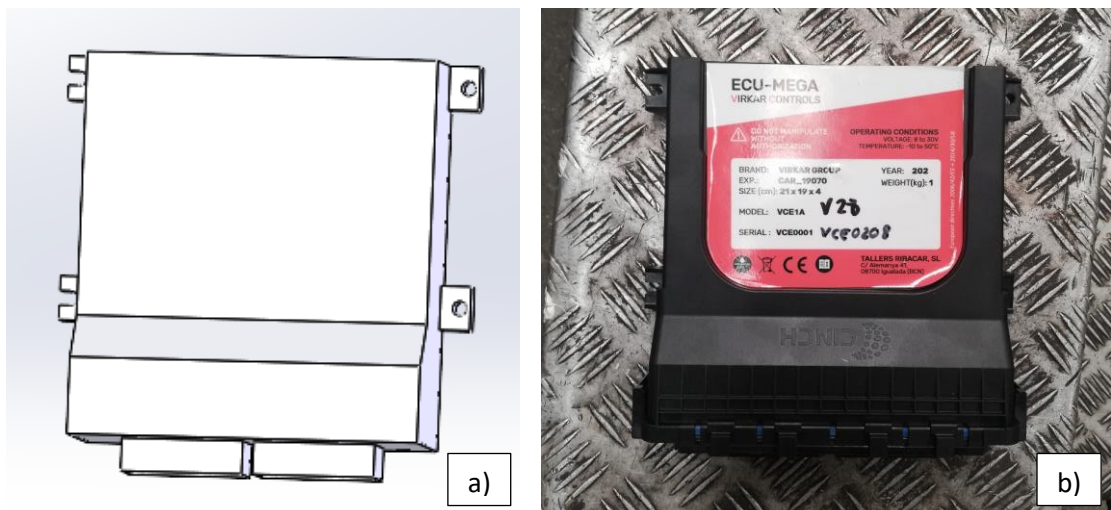


Figura 26 - Desenho 3D (a) e imagem real da unidade de controlo (b)

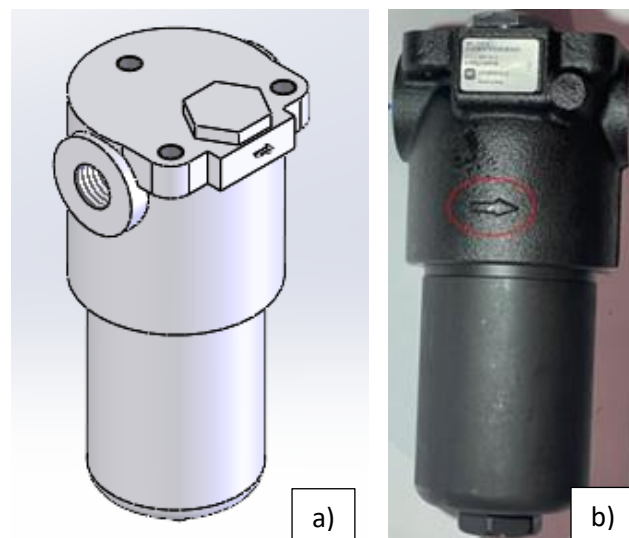


Figura 27 - Desenho 3D (a) e imagem real do filtro do óleo (b)

Após o desenho dos componentes em Solidworks, planeou-se a sua localização na cisterna. Para tal, utilizou-se o desenho tridimensional completo da cisterna, apresentado na Figura 28.

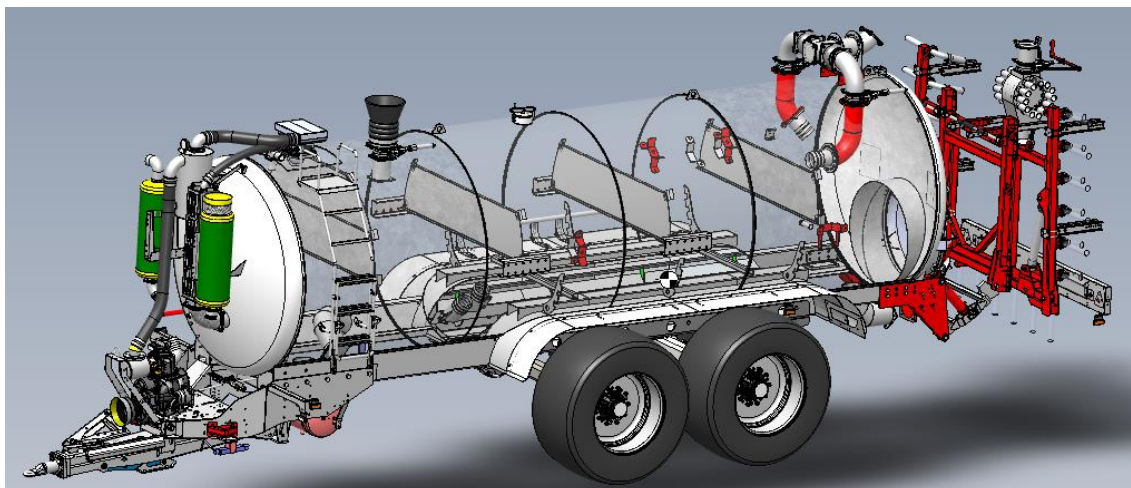


Figura 28 - Desenho CAD completo da cisterna projetada

Visto que todas as cisternas têm de ser adaptadas aos componentes opcionais escolhidos pelo cliente, todas estas devem ser desenhadas a três dimensões para incorporar estes opcionais. A cisterna em causa continha bastantes opcionais exigidos pelo cliente, o que dificultou o posicionamento dos componentes do sistema DFE. Assim, decidiu-se que o bloco hidráulico, a unidade de controlo e o filtro do óleo seriam colocados debaixo da cisterna, fixados no chassi, e próximos uns dos outros. O sensor de ângulo dianteiro foi colocado na lança, como delineado anteriormente.

3.4.4.4. Manuais do fornecedor

Com o objetivo de compreender e instalar o sistema *SmartDrive* de forma correta, foi feito uso de dois manuais fornecidos pelo fabricante, um relativo à instalação e outro relativo ao modo

Desenvolvimento

de utilização. Estes forneceram toda a informação necessária sobre o circuito elétrico e o circuito hidráulico do sistema, assim como outros detalhes relativos aos componentes. Uma das informações essenciais fornecidas pelos manuais diz respeito ao modo de ligação do sensor de ângulo da lança ao trator. A ADR propõe duas formas possíveis de fazer a conexão, visíveis na Figura 29.

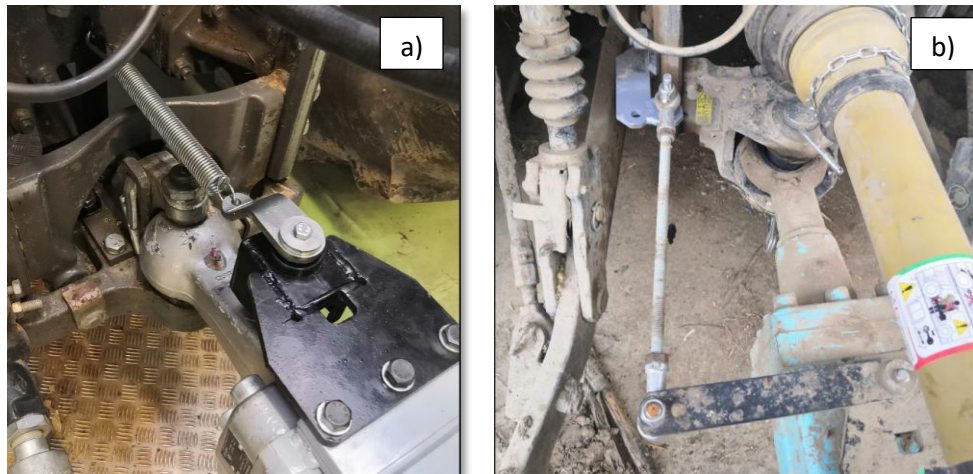


Figura 29 - Opções de ligação do sensor frontal do *SmartDrive* ao trator: ligação com mola (a) e ligação com haste (b) (ADR, 2023b)

A Figura 29(a) representa a instalação aconselhada pela ADR, que faz uso de uma mola tensionada entre a haste do sensor e um ponto de ligação no trator. Esta instalação é robusta e confiável, mas acarreta o problema de, normalmente, não existir nenhum furo apropriado na traseira do trator. Não existe qualquer norma que defina a existência de um furo centralizado acima do suporte do argolão no trator, ou seja, a maioria dos tratores existentes necessitam de algum tipo de adaptação para conseguir conectar a mola. Esta adaptação pode ser feita, por exemplo, com uma peça auxiliar aparafusada ao trator. A Figura 29(b) mostra a opção alternativa, para o caso de a ligação não poder ser feita com a mola. Nesta solução, a haste cinzenta curvada do sensor é substituída por uma outra haste, mais comprida e com formato plano (a preto). Esta peça serve de ligação a uma segunda haste, que irá conectar ao trator. Este modo de ligação é mais versátil do que a ligação com mola, pois praticamente todos os tratores possuem furos na traseira, precisamente para adaptações deste género que o proprietário queira fazer.

Ambos os modos de ligação do sensor necessitam de ser adaptados ao trator. Esta é a principal desvantagem deste sistema DFE relativamente a outros, que podem ser entregues diretamente ao cliente, sem haver necessidade de fazer qualquer adaptação ao trator que o vai utilizar. Existe também o inconveniente de ser necessária uma nova adaptação, caso o proprietário mude de trator. O manual de instalação da ADR forneceu também os esquemas dos circuitos elétricos e hidráulicos. Estes necessitam de ser compreendidos aquando da instalação, para que esta não fosse efetuada de forma incorreta. Na Figura 30 é possível observar o circuito hidráulico (a) e o circuito elétrico (b).

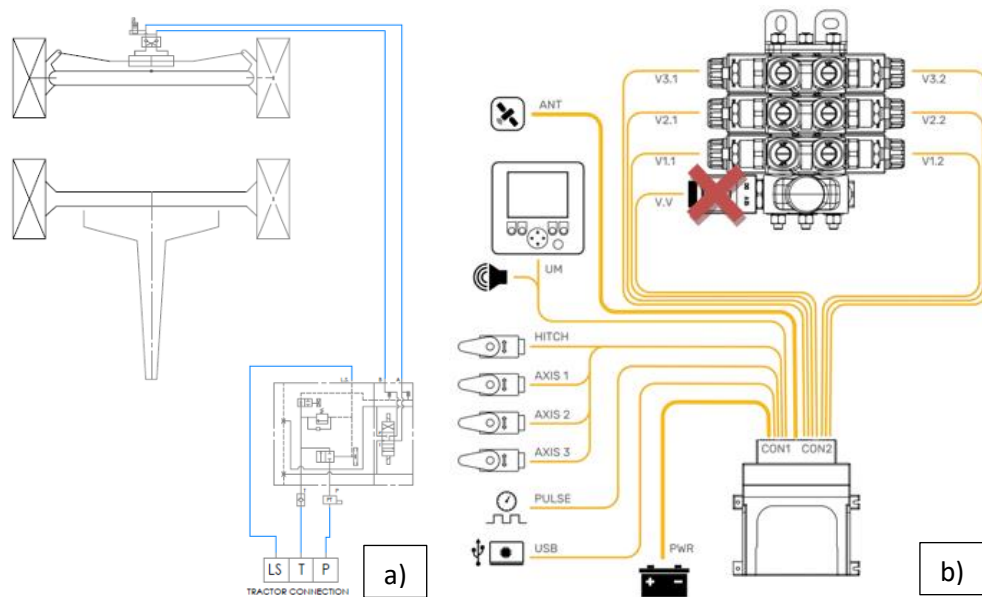


Figura 30 - Circuitos hidráulico (a) e elétrico (b) do *SmartDrive* (ADR, 2023a)

Devido à necessidade de existirem medidas de segurança caso o sistema falhe, existem válvulas de segurança nos eixos direcionais. Estas são acionadas caso o circuito hidráulico perca pressão ou caso o circuito elétrico perca a energia. A ADR aplica uma válvula de segurança por cada eixo direcional de um sistema *SmartDrive*. No caso da cisterna Herculano CH 22000 RG, existe uma única válvula visto que apenas o eixo traseiro é direcional (o dianteiro é fixo). Na Figura 31 observa-se um exemplo de uma válvula de segurança, presente no manual de instalação.



Figura 31 - Válvula de segurança do sistema *SmartDrive* (ADR, 2023a)

Outro pormenor explicado pelos manuais foi o funcionamento da função LS (*Load Sensing*). O *Load Sensing*, em português traduzido para “sensibilidade à carga”, é uma função comumente

usada nos circuitos hidráulicos de tratores e alfaias agrícolas. Esta é uma tecnologia relativamente recente, que tem o objetivo de fazer com que a bomba hidráulica de um trator não esteja em funcionamento contínuo, ou seja, num trator com *Load Sensing* o motor que alimenta o circuito hidráulico só trabalha quando é necessário que o óleo se movimente. Este mecanismo traz algumas vantagens, tais como temperatura do óleo mais baixa e grande redução no consumo de combustível. O sistema *SmartDrive* da ADR é preparado para ser instalado em tratores com ou sem *Load Sensing*. Esta adaptação é feita através do aperto, ou desaperto, de um parafuso situado no distribuidor hidráulico (Figura 32).

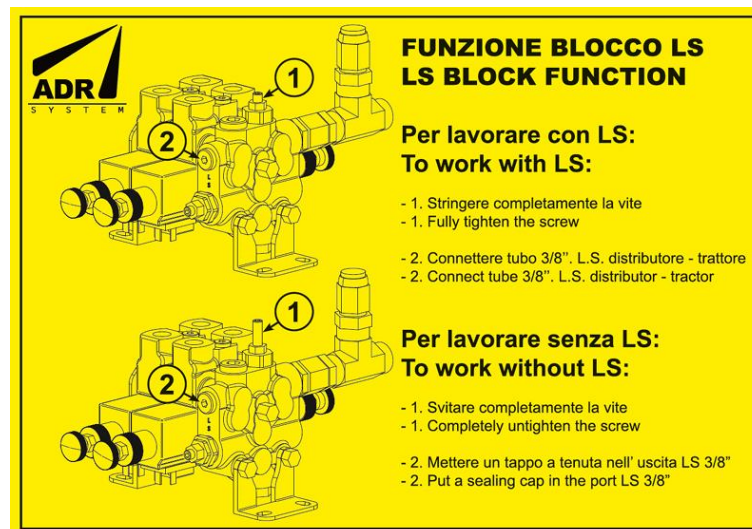


Figura 32 - Descrição da função LS (ADR, 2023a)

3.4.4.5. Modos de funcionamento do sistema

O sistema *SmartDrive* apresenta diversos modos de funcionamento, que são exibidos no painel de controlo do sistema. O sistema pode funcionar de forma automática ou manual. Existem três modos disponíveis:

- *Road* (“estrada”) – quando o modo de estrada está ativo, o sistema é comandado pelos sensores eletrónicos e as rodas giram em função do ângulo do sensor da lança;
- *Man* (“manual”) – o modo manual permite girar as rodas dos eixos direcionais a partir do painel de controlo;
- *Lock* (“bloqueio”) – quando o modo de bloqueio está ativo, os eixos direcionais bloqueiam as rodas a zero graus, ou seja, as rodas estão perfeitamente alinhadas longitudinalmente como se o eixo fosse fixo.

O modo de estrada é ideal para deslocamentos no campo ou na estrada a baixas velocidades. Quando este está ativo, todas as vantagens do sistema direcional forçado eletrónico estão a ser aproveitadas. Este modo só é aplicável a baixas velocidades porque, quando o trator acelera, entra em funcionamento o modo de bloqueio, de forma automática. Esta velocidade é definida pelo utilizador aquando da configuração do sistema e pode ser alterada a qualquer momento no monitor de controlo (é recomendado que esta seja de 15 km/h). Este bloqueio dos eixos

existe como medida de segurança para garantir que, ao viajar a maiores velocidades, a cisterna não se desvia do caminho a percorrer. O modo manual é útil para manobras mais exigentes ou trabalhos de campo personalizados. Neste modo é possível controlar cada um dos eixos direcionais de forma independente (no caso da cisterna construída, apenas um eixo). O sistema *SmartDrive* comporta ainda uma válvula de segurança que atua em caso de emergência. Esta é acionada de forma automática quando o circuito hidráulico perde pressão ou o circuito elétrico perde a energia. Caso se dê uma emergência de tal ordem, a válvula faz com que o eixo direcional gire livremente, como se fosse um sistema autodirecional (modo *free-flow*).

3.4.4.6. Construção do protótipo

Após finalizar a primeira fase do projeto, começou-se a construção da cisterna protótipo. Seguidamente, são apresentadas imagens do processo de construção, tendo em conta os detalhes mais importantes. Em primeiro lugar os eixos e a suspensão foram pintados a vermelho, segundo as cores dos produtos Herculano, incluindo as ligações dos sensores nos eixos. Na Figura 33 é possível observar os sensores nos eixos, representados pelas setas azuis, com destaque para o sensor de velocidade (a) e o sensor de ângulo (b).

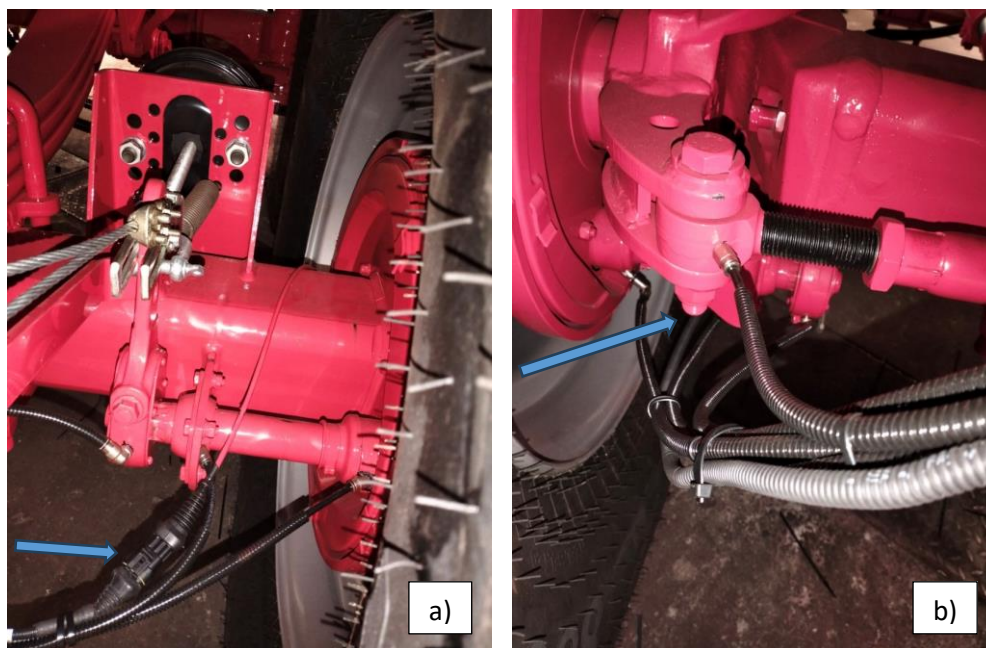


Figura 33 - Sensores dos eixos: sensor de velocidade (a) e sensor de ângulo (b)

De seguida instalou-se o sensor de ângulo da lança. Este requereu atenção extra, pois foi instalado no chão de fábrica e era preciso ter em atenção o seu posicionamento em relação a outras peças existentes. Com o objetivo de não furar a lança, tendo em conta que um cardã (ver glossário) teria de passar por cima do sensor e a melhor forma de encaixe na lança, decidiu-se colocar uma barra de suporte na lança, soldada em três pontos. Nesta barra ficou instalado o sensor, fixado por três parafusos, como se verifica na Figura 34.



Figura 34 - Instalação do sensor de ângulo da lança

De seguida, procedeu-se à ligação do sensor de ângulo da lança ao trator, uma das fases mais importantes da instalação do sistema. Na presença de um trator, facultado por um agricultor local, conectou-se o sensor segundo o método alternativo apresentado pela ADR. Este trator utilizado não possuía qualquer furo centralizado, ou alguma adaptação do género, onde pudesse ser ligada a mola. Assim, o método alternativo, com uma haste cortada à medida, permitiu ligar o sensor a um furo lateral existente na estrutura traseira do trator. Na Figura 35 é possível observar a ligação do sensor ao trator. A ligação final do sensor pronto a ser acoplado é apresentada na Figura 36.

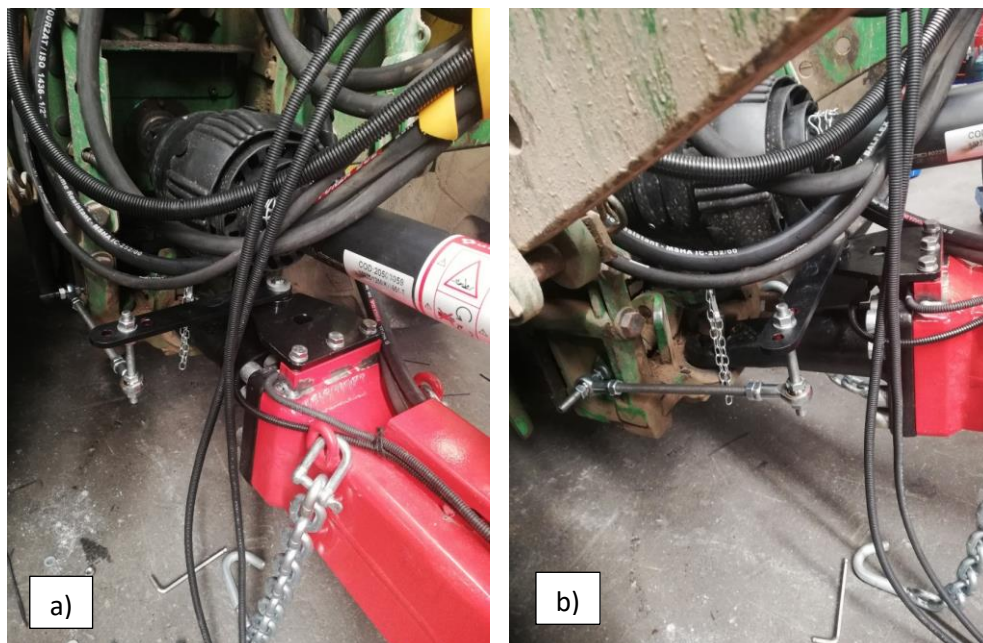


Figura 35 - Ligação do sensor da lança ao trator: vista superior (a) e vista lateral (b)



Figura 36 - Sensor de ângulo da lança pronto para acoplar num trator

A seguir procedeu-se à instalação da unidade eletrónica de controlo do sistema (ECU) e do bloco hidráulico. Para tal seguiu-se o posicionamento delineado anteriormente, segundo o qual a ECU e o bloco ficam juntos, debaixo da cisterna, numa das laterais. Na Figura 37 é possível observar a instalação final destes componentes.

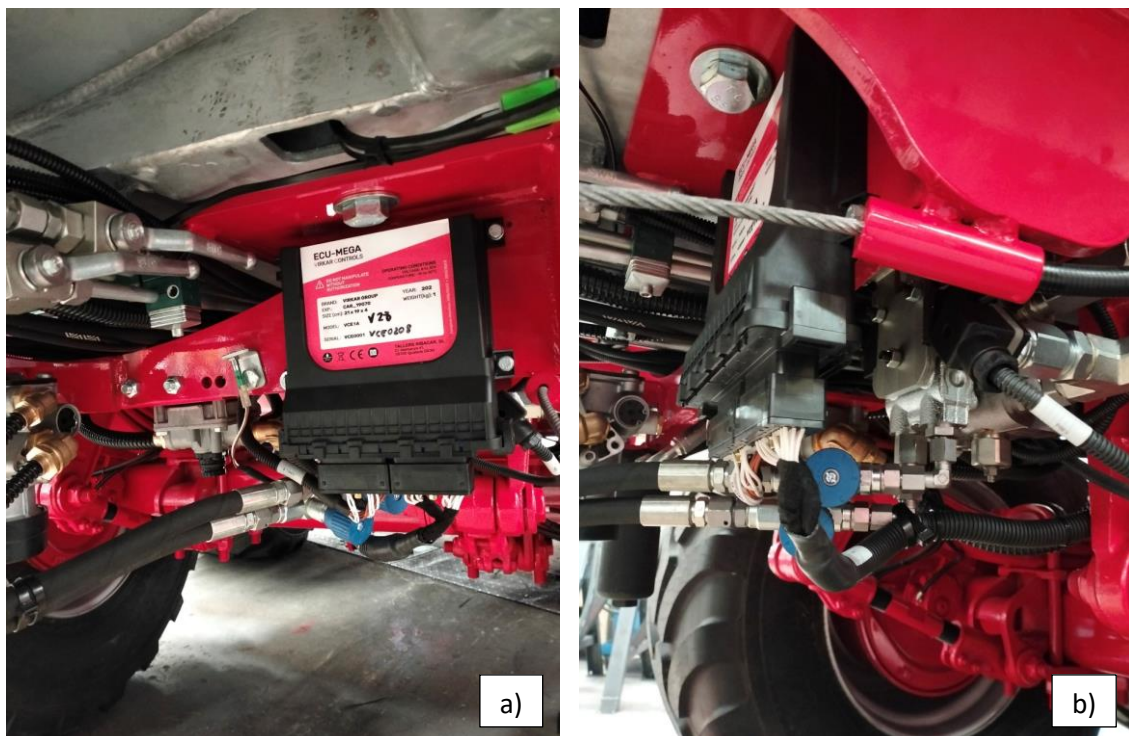


Figura 37 - ECU (a) e distribuidor hidráulico (b) após instalação

Desenvolvimento

De seguida efetuou-se a instalação do filtro de óleo do circuito hidráulico e da válvula de segurança do cilindro do eixo direcional. Estes encontram-se representados na Figura 38, nomeadamente o filtro (a) e a válvula (b), identificada com uma seta azul.

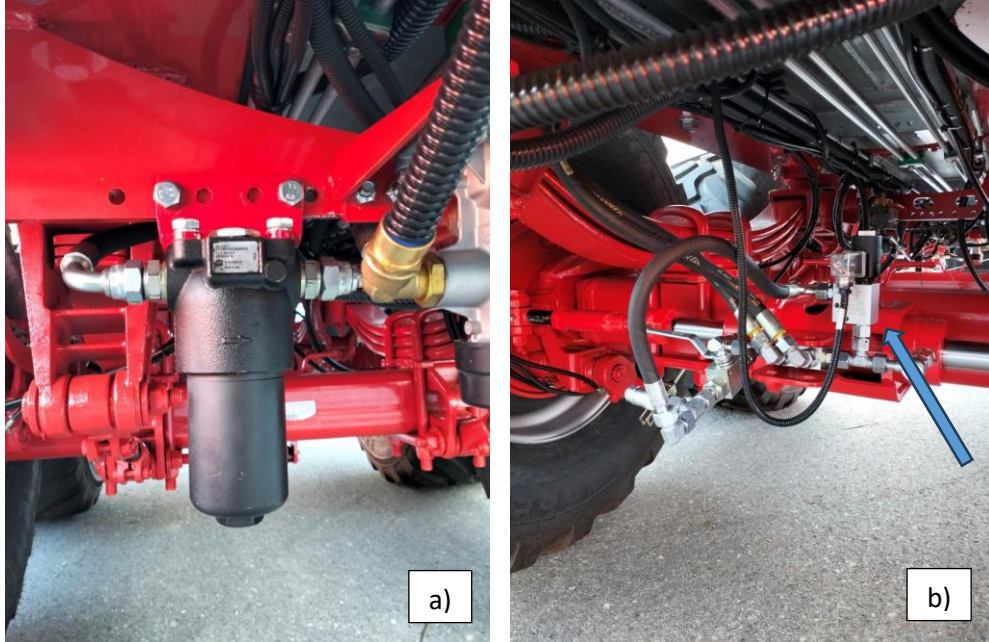


Figura 38 - Filtro do óleo (a) e válvula de segurança do cilindro (b) após instalação

A Figura 39 mostra a lança completa, com o sensor de ângulo e o cardã por cima. É possível visualizar ainda outros acessórios como a bomba da cisterna, o travão de estacionamento e o descanso hidropneumático. A Figura 40 demonstra a cisterna finalizada, pronta para ser entregue ao cliente.



Figura 39 - Lança da cisterna equipada com sensor, cardã e acessórios pedidos pelo cliente



Figura 40 - Cisterna finalizada

3.4.4.7. Configuração do sistema

Com a construção da cisterna finalizada, foi necessário configurar e calibrar todo o sistema. Devido ao facto de se tratar de um sistema novo na empresa, a primeira configuração contou com a presença de um técnico de Itália, engenheiro na empresa mãe ADR e com dois representantes da mesma empresa em Espanha, fornecedores da Herculano. O representante italiano tinha o conhecimento de todo o processo e foi o principal instrutor da configuração. Começou-se por verificar a instalação dos componentes na cisterna e se nenhum dos circuitos tinha sido montado de forma errada. Posto isto, ligou-se o circuito elétrico e forneceu-se óleo ao circuito hidráulico, pela utilização de um trator emprestado por um agricultor local. O principal elemento necessário para a calibração do circuito é o monitor de controlo do sistema ou *Human Machine Interface (HMI)*, que acompanha o tratorista na cabine. Na Figura 41 é possível observar o monitor.

Figura 41 - Monitor de controlo do sistema *SmartDrive*

Desenvolvimento

O sistema foi configurado segundo os procedimentos indicados pelo técnico da ADR. Esta configuração consistiu, maioritariamente, na introdução de parâmetros e códigos no monitor e na calibração de alguns componentes, tais como sensores. A série ordenada de passos seguidos na configuração está representada na Tabela 7.

Tabela 7 - Etapas ordenadas da configuração do sistema *SmartDrive*

Etapas	Procedimento
1 – Retirar o ar do circuito hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> • Abrir purga dos cilindros do eixo direcional e sangrar o circuito hidráulico.
2 – Verificar sentido de rotação das rodas	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar o modo manual no monitor; • Posicionar como se fosse o tratorista e verificar se as rodas giram no sentido indicado no monitor; • Caso não estejam, inverter o sistema: menu -> instalação -> código 219 -> inverter o sensor -> selecionar eixo -> passar de 0 para 1.
3 – Verificar tempo de rotação das rodas	<ul style="list-style-type: none"> • Fechar as válvulas reguladoras de caudal do distribuidor; • Com o óleo do circuito hidráulico quente e o eixo direcional em questão levantado (sem as rodas tocarem no chão), testar o tempo de rotação lateral completa das rodas, sendo que este tem de ser cerca de 6 ou 7 segundos; • Caso a rotação esteja demorada: abrir a válvula reguladora; • Caso a rotação esteja demasiado rápida: fechar a válvula reguladora; • É aconselhado regular a válvula de meia em meia volta.
4 – Calibrar sensores de ângulo da lança e das rodas	<ul style="list-style-type: none"> • Selecionar o modo “<i>Road</i>” no monitor; • Desligar as conexões hidráulicas e elétricas da cisterna ao trator; • Conduzir o trator em linha reta, rebocando a cisterna até que as rodas do(s) eixo(s) direcional/direcionais se alinhem com as do eixo fixo (sem conexão elétrica e hidráulica o sistema está autodirecional); • Calibrar o sensor de ângulo das rodas: menu -> instalação -> código 219 -> calibração do centro dos eixos -> selecionar eixo; • Calibrar o sensor de ângulo da lança: menu -> instalação -> código 219 -> calibração de cabeçalho -> ok -> ok.

Tabela 7 - Etapas ordenadas da configuração do sistema *SmartDrive* (continuação)

5 – Definir ângulo máximo de rotação das rodas	<ul style="list-style-type: none"> • Ligar de volta as conexões hidráulicas e elétricas; • Definir o ângulo máximo de rotação das rodas direcionais em 7 graus: menu -> instalação -> código 219 -> máximo eixos -> selecionar eixo -> 7.
6 – Definir parâmetros adicionais	<ul style="list-style-type: none"> • Definir o ângulo máximo do sensor da lança a 40 graus; • Definir o parâmetro de velocidade a 15 km/h; • Definir a velocidade de bloqueio dos eixos a 25 km/h (ou outro valor à escolha); • Definir a fonte de velocidade como o sensor do eixo fixo e aplicar a fórmula $\frac{\pi \times \text{diâmetro da roda em metros}}{20}$, digitando o resultado no monitor, em número inteiro; • Definir o ganho dos eixos como 6, sendo que se estes estiverem pouco direcionais aumentar o valor; • Definir a percentagem de <i>Load Sensing</i> entre 50% e 60%.

Na Figura 42 pode observar-se a cisterna numa manobra, aquando da configuração, em que o sistema de manobrabilidade já direciona as rodas lateralmente.

Figura 42 - Sistema *SmartDrive* a atuar numa manobra da cisterna

3.4.5. Entrega ao cliente

Finalizada a construção da cisterna e ultimados os acabamentos finais, procedeu-se à entrega da cisterna ao cliente. Esta teve lugar no distrito de Santarém, com acompanhamento da Herculano. O primeiro passo da entrega consistiu na deslocação até ao representante da Herculano na zona, onde o cliente viria buscar a cisterna com o trator destinado a utilizá-la e onde se realizaram as respetivas conexões mecânicas, hidráulicas e elétricas. A ligação entre o trator e o sensor de ângulo da lança corresponde, sem qualquer dúvida, à conexão mais importante com a cisterna, no que diz respeito ao sistema direcional forçado eletrónico. Um dos propósitos do acompanhamento da entrega da cisterna ao cliente era efetuar esta ligação, que ocorreria na oficina do representante da Herculano, quando o cliente trouxesse o seu trator. Dado que se desconhecia qual o trator do cliente e que possibilidades de ligações existiam na zona traseira, a intenção inicial era fazer a conexão alternativa sugerida pela ADR, tal como se fez no trator usado nos testes e na configuração do sistema (Figura 35). Esta ideia inicial foi abandonada, pois quando se analisou a traseira do trator do cliente, reparou-se que este já tinha uma peça auxiliar adaptada para suportar a mola de um sensor da lança, semelhante ao do sistema *SmartDrive*. Isto acontece porque o agricultor já tinha adquirido anteriormente outro equipamento com um sistema DFE, tendo na altura instalado esta peça de suporte. Assim, a ligação do sensor da lança ao trator realizou-se com a mola predestinada a esta função, tal como indicado pela ADR e demonstrado na Figura 43.



Figura 43 - Ligação do sensor de ângulo da lança com o trator

Após a conexão do argolão, do sensor da lança e do cardã, realizaram-se as ligações elétricas e hidráulicas. Devido ao elevado número de ligações este processo foi algo moroso e exigiu elevada concentração. Na Figura 44 é possível observar a válvula de segurança do sistema *SmartDrive* com a luz de funcionamento ativa (a) e os painéis de controlo do mesmo e das

outras funções da cisterna (b). A Figura 45 mostra a traseira do trator depois de terem sido efetuadas todas as ligações.

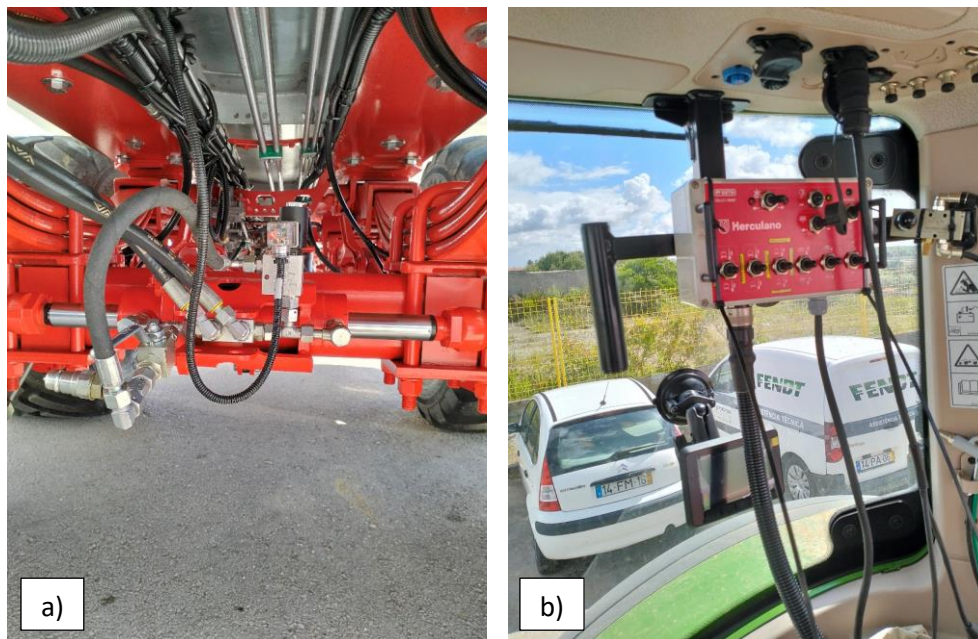


Figura 44 - Válvula de segurança ativa (a) e controlos da cisterna dentro da cabine do trator (b)

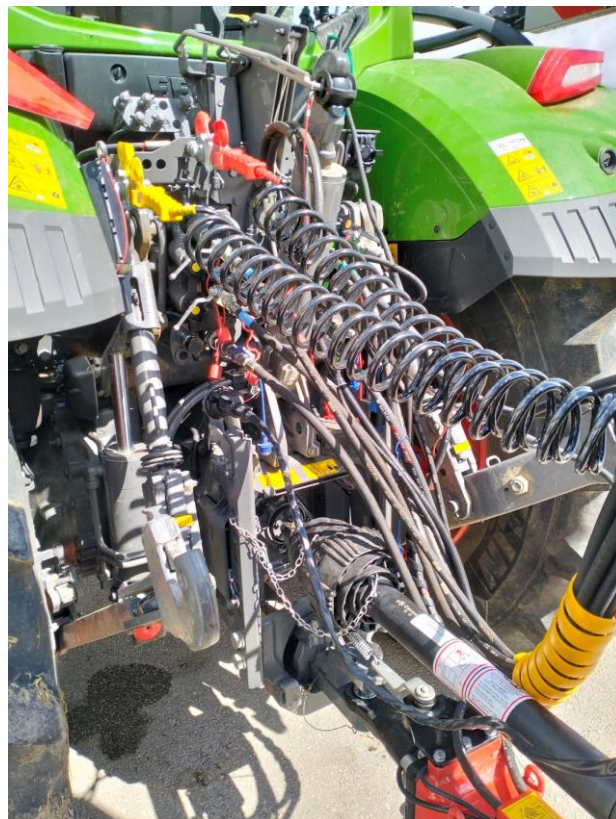


Figura 45 - Ligações na traseira do trator

Desenvolvimento

Com a cisterna e o trator prontos na oficina do representante, os intervenientes dirigiram-se até às instalações do agricultor, onde todas as capacidades da cisterna foram utilizadas pela primeira vez. A Figura 46 mostra a cisterna a ser cheia com chorume (ver glossário).



Figura 46 - Enchimento da cisterna para testes

Depois de cheia, realizou-se um teste num campo agrícola próximo, que confirmou o funcionamento correto da cisterna (Figura 47).



Figura 47 - Cisterna em testes

3.4.6. Plano de manutenção

Tal como praticamente todos os sistemas mecânicos existentes, o *SmartDrive* requer que algumas ações de manutenção sejam realizadas periodicamente, para o seu bom funcionamento. As principais ações a realizar são:

- Trocar o óleo do circuito hidráulico;
- Purgar o circuito hidráulico para eliminar ar presente no óleo;
- Adicionar massa lubrificante ao sistema de lubrificação central.

A cisterna construída inclui um sistema central de lubrificação manual, que lubrifica os componentes e as ligações mecânicas mais importantes da cisterna, através de massa lubrificante. Assim, é necessário adicionar massa regularmente, para que não existam contactos secos entre superfícies deslizantes. Na Figura 48 é possível observar o sistema de lubrificação central da cisterna.

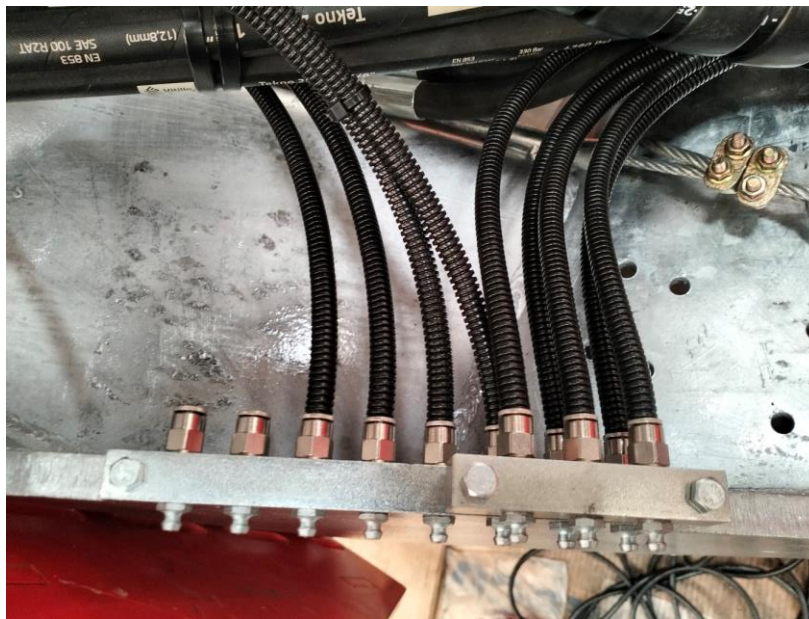


Figura 48 - Sistema de lubrificação central

Relativamente ao resto da cisterna, a única ação de manutenção a ter em conta é a lavagem do interior da bomba da cisterna com gasóleo. Esta lavagem é realizada ao deixar a bomba sugar gasóleo, que é de seguida expelido pelo tubo de saída. O gasóleo é o líquido indicado para esta operação pois elimina quaisquer resíduos que possam estar no interior da bomba e ao mesmo tempo lubrifica os componentes mecânicos.

3.4.7. Análise de custos

Devido ao facto de se tratar de um equipamento novo, a implementação do sistema DFE exigiu uma análise de custos. Esta teve em conta todos os custos associados ao projeto e forneceu

informações necessárias ao departamento financeiro da Herculano. Na Tabela 8 é possível observar a análise realizada.

Tabela 8 - Análise financeira do projeto do sistema DFE

Tipo	Custo	Descrição
Kit <i>SmartDrive</i>	5271 €	Inclui o transporte
Eixo fixo preparado para o sistema DFE	1487 €	Custo multiplicado por 18% para incluir custos indiretos
Eixo direcional preparado para o sistema DFE	3092 €	Custo multiplicado por 18% para incluir custos indiretos
Mão de obra	1520 €	Cerca 32 horas de montagem com 5 trabalhadores a receber 9,5 €/hora
Transporte	500 €	Transporte da cisterna até ao representante Herculano com um camião especial
Acompanhamento dos técnicos da ADR	0 €	Serviço gratuito oferecido na primeira instalação
Total	11870 €	

Ao observar o custo final do projeto, repara-se que este é um valor um pouco avultado. Apesar disso, o sistema DFE aqui apresentado tem um custo dentro dos valores “padrão” para um sistema de tal ordem, ao comparar com produtos da concorrência e outros sistemas no mercado. É importante referir novamente que o sistema DFE é opcional e é o comprador que decide se o pretende ou não, adicionando o custo do sistema ao custo global da compra.

3.5. Sistema de controlo da pressão dos pneus

3.5.1. Caracterização do sistema a estudar

Com o avançar da tecnologia na indústria agrícola, novos sistemas têm vindo a surgir e a ser comercializados. Como exemplo referem-se os sistemas de controlo da pressão dos pneus de forma autónoma, conhecidos como CTIS, sigla que significa *Central Tire Inflation System* (“Sistema Central de Enchimento dos Pneus”). Os sistemas de controlo da pressão dos pneus são sistemas integrados em veículos com motorização própria e/ou reboques, cuja função é aumentar ou diminuir a pressão dos pneus em que está instalado, consoante o comando de um sistema de controlo.

Originalmente, os CTIS surgiram na segunda guerra mundial em veículos anfíbios das forças armadas dos Estados Unidos da América, que utilizaram a tecnologia para atravessar diversos tipos de terrenos com maior facilidade. Durante o século XX, o uso destes sistemas teve lugar maioritariamente em veículos militares, no sentido de aumentar a tração em terrenos irregulares, assim como manter os pneus com ar mesmo após estes terem sido baleados por mais que uma vez (Warner, 1994).

Com o passar do tempo, a utilização da tecnologia de controlo da pressão dos pneus tem vindo a expandir. Atualmente, os sistemas CTIS existem em veículos e reboques de diversos tipos, tais como tratores e alfaias agrícolas, camiões de transporte de mercadorias, veículos todo-terreno, veículos militares e maquinaria pesada de construção (Sharaf & Nassar, 2021).

Na agricultura, os sistemas de controlo da pressão dos pneus são uma tecnologia relativamente recente, que começa a ganhar cada vez mais adesão por parte dos agricultores. O principal objetivo destes sistemas é reduzir a compactação do solo causada pela maquinaria agrícola, problema que reduz a quantidade e a qualidade das colheitas a longo prazo. A compactação do solo é gerada pelas rodas/lagartas dos tratores e respetivas alfaias, que, ao pisarem o solo no seu movimento, danificam a sua estrutura e o tornam mais denso. Ao longo do tempo, as repetidas operações agrícolas sobre os terrenos agravam o estado do solo, que fica cada vez mais compactado com cada passagem dos veículos agrícolas. A Figura 49 demonstra dois exemplos de solo compactado pelas rodas de um trator.



Figura 49 - Exemplos de solo compactado por tratores agrícolas: numa plantação (a); na preparação de um terreno (b) (SRUC, 2025; Mississippi State University, 2014)

Os CTIS utilizam a lei de Pascal como forma de mitigar a compactação do solo. Dado que a força exercida pelas rodas dos veículos sobre o solo é muito elevada (e mais ainda consoante a dimensão do veículo, devido ao peso do mesmo), o sistema regula a pressão no interior dos pneus para valores mínimos, de forma a aumentar a área de contacto entre o pneu e o solo. Este aumento de área diminui a pressão exercida sobre o solo e reduz a compactação associada. Para o seu funcionamento, o CTIS necessita de uma fonte de ar comprimido, que pode ser um compressor independente ou, nos tratores mais recentes, o compressor do trator, um monitor de controlo com uma unidade de processamento, tubos de ligação e uniões rotativas nas rodas

Desenvolvimento

onde é aplicado. Estes sistemas podem ser instalados no interior dos eixos e do chassi dos veículos, tornando-se invisíveis por fora, ou então ser instalados no veículo de forma exterior, caso no qual ficam visíveis os tubos de ar. Na Figura 50 é possível observar um trator a fazer uso de um sistema de controlo da pressão dos pneus num campo agrícola (note-se os pneus achatados).



Figura 50 - Trator com CTIS (Michelin, 2025)

Os sistemas de controlo da pressão dos pneus oferecem diversas vantagens quando aplicados, tais como (PTG, 2025):

- Redução da compactação do solo;
- Melhores colheitas;
- Maior tração;
- Menor risco de atolar;
- Maior manobrabilidade;
- Menor desgaste dos pneus;
- Menor consumo de combustível;
- Maior conforto na condução.

A popularidade dos CTIS tem vindo a aumentar entre os produtores agrícolas, que comprovam as suas vantagens no terreno. Nos últimos anos, os fabricantes de equipamentos agrícolas têm acompanhado o desenvolvimento desta tecnologia e muitos já a disponibilizam como opcional na compra de um equipamento novo, como um trator ou um reboque.

3.5.2. Problemas existentes

Os sistemas de controlo da pressão dos pneus têm como principal objetivo colmatar o problema da compactação dos solos agrícolas. Este acontece devido à passagem contínua sobre o solo das rodas/lagartas das máquinas associadas à atividade agrícola, nomeadamente tratores e respetivas alfaias, tais como reboques. Muitos veículos agrícolas atuais apresentam grandes dimensões e pesos totais de várias toneladas, com a agravante de que nos processos agrícolas muitas vezes os rodados dos veículos pisam sempre os mesmos trajetos, delineados previamente e ajustados à largura das alfaias. O transporte de mercadorias agrícolas é também um fator de risco para a existência de compactação, dado que os reboques agrícolas transportam grandes quantidades de carga, que se traduz num elevado peso a suportar pelo solo.

A compactação do solo é um fenómeno que acontece quando as partículas que o compõem são comprimidas por ação de uma força. Esta compressão reduz a porosidade do solo (o espaço vazio entre as partículas) e aumenta a sua densidade. A Figura 51 demonstra a diferença entre um solo saudável (a) e um solo compactado (b), a partir de uma vista transversal.

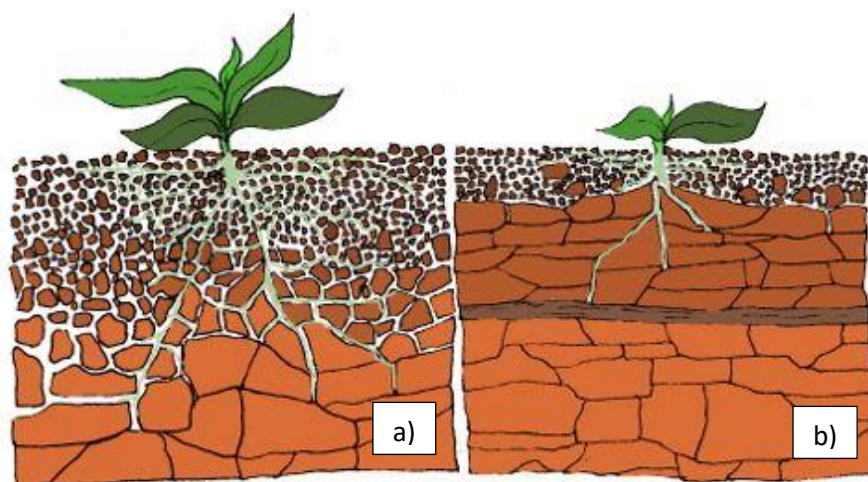


Figura 51 - Diferença entre solo saudável (a) e solo compactado (b) (University of Florida, 2021)

Os solos compactados apresentam uma estrutura do solo danificada e densa, com reduzida capacidade de absorver água e nutrientes, devido à ausência de poros. Por esta razão, estes solos limitam o crescimento de raízes e das plantas, retêm água na superfície sem a conseguirem escoar e reduzem as colheitas agrícolas. Este problema é muitas vezes ignorado pelos agricultores, sem se levar em consideração as consequências a longo prazo.

Outra adversidade mitigada pelos sistemas de controlo da pressão dos pneus é a perda de tração dos tratores nos campos agrícolas. Esta acontece principalmente em terrenos inclinados e quando os tratores rebocam cargas pesadas, como reboques de cereais e cisternas de grande capacidade. A existência de uma maior superfície de contacto, criada pelo CTIS entre os pneus e o solo, reduz a probabilidade de perda de tração e, conseqüentemente, aumenta a segurança das operações agrícolas.

3.5.3. Anteprojeto

O projeto de implementação de um CTIS num reboque Herculano envolveu diversas fases e departamentos da empresa. Devido à novidade no projeto de um sistema deste tipo em reboques agrícolas, o conhecimento era inicialmente reduzido, desde o modo de funcionamento aos requisitos para implementação. Inicialmente, começou-se por estudar a fundo a tecnologia e explorar quais as opções disponíveis no mercado, tendo em conta os requisitos definidos. Desta forma, foram estabelecidos vários contactos com empresas fornecedoras da tecnologia e analisados os prós e contras de cada oferta. Posteriormente, agendaram-se reuniões presenciais na Herculano com alguns representantes das empresas em questão, por forma a conhecer melhor a tecnologia e esclarecer dúvidas com os especialistas, de forma presencial.

Os sistemas de controlo da pressão dos pneus são sistemas cuja função é insuflar e desinsuflar os pneus mediante um comando do operador. Esta tecnologia é relativamente recente na agricultura e tem ganho cada vez mais popularidade entre os produtores agrícolas. Como consequência, os fabricantes de equipamentos agrícolas, principalmente tratores e reboques agrícolas, têm acompanhado a tendência e apostado na tecnologia. Os CTIS têm um princípio de funcionamento simples e os principais elementos constituintes do sistema são:

- Um sistema de controlo central;
- Uma união rotativa por roda;
- Linhas de ar para ligar a caixa de controlo a cada pneu;
- Uma ligação entre a caixa de controlo e o painel de controlo na cabine;
- Uma ligação entre a caixa de controlo e o sistema de ar (do trator ou compressor independente).

O CTIS atua pelo comando do operador no painel de controlo da cabine e apenas onde está instalado, ou seja, em caso de instalação do CTIS no reboque apenas é alterada a pressão dos pneus do reboque, sem alterar a dos pneus do trator. O sistema pode ser instalado de duas formas: pelo interior (todos os componentes ficam invisíveis) ou pelo exterior (ficam visíveis os tubos de ligação às rodas). Na Figura 52 é possível observar um exemplo de cada tipo de instalação: interior (a) e exterior (b).

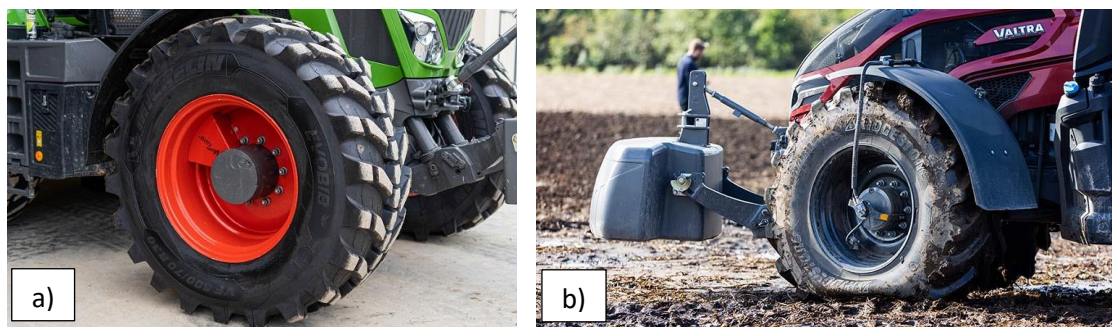


Figura 52 - Instalação de CTIS pelo interior (a) e pelo exterior (b) (Revista pós-venda, 2022; Valtra, 2025)

As duas instalações apresentam vantagens e desvantagens, que têm de ser equacionadas no momento de decidir qual a solução a instalar. A instalação pelo interior é bastante apelativa esteticamente, visto que praticamente todos os componentes ficam invisíveis (apenas a ligação na jante fica ligeiramente visível). Apesar disto, este tipo de instalação apresenta a desvantagem de que se houver a necessidade de fazer uma reparação, o trator (ou veículo) em que está instalado tem de ser parcialmente desmontado para aceder ao sistema. Este processo incorre custos adicionais, tanto pelo trabalho de oficina, como pelo tempo que o veículo está parado. A instalação do sistema pelo exterior é menos apelativa em termos estéticos, mas apresenta a vantagem de ser mais fácil de instalar e reparar, caso necessário.

O sistema de controlo da pressão dos pneus existirá na Herculano como um novo opcional, sendo que é o cliente que decide, aquando da compra, se o pretende. A primeira fase da implementação do CTIS consistiu na análise das propostas existentes. Consideraram-se aspetos tais como o modo de funcionamento do sistema, vantagens, desvantagens, custo, entre outros. No final, foi efetuada a escolha de qual sistema a implementar.

3.5.3.1. Solução 1

A primeira proposta analisada para a implementação de um sistema de controlo da pressão dos pneus foi o sistema da empresa PTG. Esta fabricante alemã de renome tem mais de trinta anos de experiência no desenho e comércio de sistemas de insuflação. Neste momento, a PTG assume-se mesmo como a marca de referência do mercado europeu e desde 2018 que faz parte do grupo Michelin. A proposta examinada consiste num sistema de teleinsuflação de duas linhas, uma de fornecimento de ar e outra de controlo. O sistema inclui todos os elementos necessários, como o painel de controlo, o sistema de controlo central, as ligações de ar, entre outros e, ainda elementos opcionais como um compressor independente (para veículos sem compressor próprio) e um painel de controlo com ISOBUS (ver glossário). O sistema da PTG tem a possibilidade de ser instalado pelo interior ou exterior do veículo, e a maioria dos componentes são os mesmos e diferem apenas algumas peças nas ligações às rodas. A instalação pelo exterior utiliza tubos de ligação que estão no exterior das rodas e que conectam a uma união rotativa, por sua vez acoplada à jante da roda. A instalação pelo interior do veículo é praticamente invisível e esteticamente muito apelativa. Não existe qualquer tipo de ligação ou parte móvel por fora das rodas, visto que estas se encontram no interior. Por este motivo, a instalação do CTIS pelo interior necessita obrigatoriamente de eixos previamente preparados para receber o sistema. Esta é a principal particularidade deste tipo de instalação, que utiliza uma união rotativa patenteada e sem linhas de ar exteriores para suportar o sistema, completamente integrada no eixo. A Figura 53 permite observar o CTIS da PTG, designadamente uma instalação pelo exterior (na roda da frente do trator) e uma instalação pelo interior (na roda de trás).



Figura 53 - Poster de promoção do CTIS da PTG (PTG, 2025a)

3.5.3.2. Solução 2

A segunda solução analisada para possível implementação foi o sistema de controlo da pressão dos pneus da Parker. Esta empresa norte americana tem como foco o desenvolvimento de sistemas de controlo e movimento para uma grande variedade de indústrias. A Parker está sediada em Cleveland, Ohio, nos EUA e desde há bastante tempo que produz soluções para a indústria agrícola. O sistema proposto utiliza um princípio de funcionamento de uma só linha por roda, com a ligação de todas as linhas a uma unidade central de controlo pneumático. Esta unidade de controlo funciona em conjunto com uma unidade de controlo eletrónica, que comanda todo o sistema. As duas situam-se juntas uma da outra quando instaladas. A unidade de controlo pneumático está conectada a um tanque de reserva de ar, que por sua vez está conectado ao compressor e a um secador de ar. A unidade de controlo eletrónica está conectada à HMI, presente na cabine do trator. Os tubos de ligação às rodas estão conectados a uma válvula independente com uma união rotativa, presente em cada roda, patenteada pela empresa e completamente selada, o que permite operar em praticamente todo o tipo de condições, incluindo lama, poeira, neve ou gelo. O sistema funciona completamente pelo interior do veículo e o único componente visível são as válvulas presentes nas jantes de cada roda. Devido ao facto de as ligações de ar interiores não serem instaladas nos eixos, o CTIS não necessita de eixos adaptados e pode ser instalado de forma imediata. O sistema foi criado com o intuito de ser o mais simples e intuitivo possível e oferece ainda um sistema de diagnóstico e mitigação de falhas, derivado da experiência da empresa no fornecimento de CTIS a veículos militares.

3.5.3.3. Escolha da solução a implementar

Após a apresentação das duas propostas, sucedeu-se uma fase de análise e reflexão sobre qual a melhor a implementar. Esta decisão envolveu vários departamentos da empresa, tais como investigação e inovação, gestão do produto, qualidade, comercial, financeiro e ainda elementos da direção. Como ferramenta de auxílio à decisão, utilizou-se uma análise SWOT com o objetivo de estudar os prós e contras de cada opção. Na Tabela 9 encontra-se a análise SWOT realizada, com descrição dos pontos fortes, fracos, oportunidades de melhoria e potenciais ameaças.

Tabela 9 - Análise SWOT ao caso do sistema de controlo da pressão dos pneus

Pontos Fortes		Pontos Fracos	
<p>PTG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementação imediata; • Qualidade do produto; • Instalação pelo interior ou pelo exterior; • Empresa líder do mercado e com reconhecimento na área; • Compressor incluído se requerido; • Baixa exigência de manutenção. 	<p>Parker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implementação imediata; • Qualidade do produto; • Não necessita de eixos adaptados; • Inclui sistema de diagnóstico e mitigação de falhas. 	<p>PTG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necessita de eixos previamente preparados quando instalado pelo interior; • Elevado custo (em parte devido à falta de concorrência na Europa). 	<p>Parker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevado custo de transporte (produto dos EUA); • Pouco reconhecimento da empresa na Europa; • Sem possibilidade de incluir compressor, o que torna o sistema apenas aplicável em alguns veículos.
Oportunidades		Ameaças	
<p>PTG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Herculano ser pioneira no país a implementar um CTIS; • Tecnologia cada vez mais pretendida pelos agricultores; • Reconhecimento da empresa fornecedora. 	<p>Parker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Herculano ser pioneira no país a implementar um CTIS; • Tecnologia cada vez mais pretendida pelos agricultores. 	<p>PTG</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade em obter confiança dos clientes pela novidade do produto; • Preferência dos clientes por soluções mais baratas. 	<p>Parker</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade em obter confiança dos clientes pela novidade do produto; • Dificuldade em obter confiança dos clientes pelo desconhecimento da empresa; • Falhas no transporte marítimo.

Depois de um período de reflexão sobre as propostas e a análise SWOT, foi efetuada a escolha do sistema de controlo da pressão dos pneus a implementar, que recaiu sobre a proposta da PTG. Esta escolha deveu-se ao facto de a Herculano se querer aliar à marca de referência da Europa e a uma série de pormenores técnicos que favorecem o sistema. O CTIS da PTG oferece a possibilidade de ter um compressor independente do trator, o que para o caso da Herculano é um ponto crítico. Dado que a Herculano apenas fabrica as cisternas e reboques agrícolas, sem saber qual o tipo de trator que as vai utilizar, o facto de poder existir um compressor independente significa que o CTIS poderá ser utilizado por qualquer trator, independentemente se este tem um sistema de ar ou não. Esta possibilidade é particularmente importante dado que o parque de máquinas agrícolas em Portugal é relativamente envelhecido e apenas os tratores mais recentes possuem um sistema pneumático com compressor próprio. Outro fator que influenciou a escolha do sistema foi a facilidade de aquisição e adaptação aos eixos preparados para a instalação pelo interior. Como referido anteriormente, a instalação do CTIS pelo interior necessita de eixos previamente preparados, com furos e adaptações para suportarem o sistema de ar. Acontece que a empresa fornecedora de eixos da Herculano, a ADR, tem uma parceria com a PTG e faz as adaptações necessárias aos eixos logo no fabrico dos mesmos. Esta colaboração revela-se especialmente vantajosa para a Herculano, que não tem de comprar eixos a outro fornecedor e não precisa de fazer as adaptações na fábrica, ou requisitá-las noutra local especializado. É também importante referir que a escolha do sistema efetuada foi apenas relativa à empresa fornecedora e não ao tipo de instalação. Pormenores como se a instalação é interior ou exterior, e se o sistema possui compressor independente ou não, são posteriormente escolhidos pelo cliente na altura da compra.

3.5.4. Projeto

Após a escolha da solução a implementar, iniciou-se a fase de projeto. O objetivo desta fase consistiu no fabrico de uma cisterna protótipo, na qual seria instalado o sistema de controlo da pressão dos pneus. A cisterna produzida foi uma CH 24000 RG, um dos maiores modelos produzidos pela Herculano. Esta é composta por uma suspensão hidráulica independente de três eixos (inovação da Herculano), um sistema direcional forçado eletrónico e uma série de outros acessórios como bombas, adufas, braço lateral hidráulico, agitador interno, localizadores hidráulicos, entre outros. A implementação do sistema de controlo da pressão dos pneus teve início pela fase de planeamento, seguida pelo fabrico da cisterna.

3.5.4.1. Descrição da solução final

Iniciada a fase de implementação do CTIS, começou-se pelo estudo do sistema ao pormenor. Para tal, foi essencial a ajuda da PTG, a qual, através do seu representante em Portugal e do engenheiro alemão responsável pelas vendas internacionais, forneceu todas as informações e documentos necessários. O CTIS adquirido corresponde ao representado na Figura 53, mas adaptado à cisterna da Herculano. O sistema da PTG funciona através de um princípio de transferência de ar comprimido de um componente estacionário (estator) para um componente rotativo (rotor). Esta transferência de ar acontece nas uniões rotativas onde o

sistema está instalado, que podem ser as uniões rotativas dos eixos, caso a instalação seja interior, ou as uniões presentes nas jantes das rodas, caso a instalação seja exterior. Independentemente do tipo de instalação, o sistema utiliza vedantes de ar resistentes a altas pressões, que estão instalados nos estatores. O CTIS da PTG utiliza um mecanismo de funcionamento de duas linhas, uma maior e mais robusta para fornecimento de ar às rodas e outra de menor diâmetro, para controlo das válvulas. O princípio patenteado de duas linhas garante que o sistema só está pressurizado quando a pressão dos pneus está a ser alterada ou verificada (garantido pela linha de controlo). Este modo de funcionamento reduz drasticamente a quantidade de tempo que o sistema está sob pressão, o que aumenta significativamente a vida útil dos componentes, principalmente dos vedantes, ao contrário dos sistemas de uma linha, que estão sempre pressurizados. Após a atuação do CTIS na alteração da pressão dos pneus o sistema despressuriza por completo e o pneu fica estanque. Na eventualidade de haver uma fuga no sistema de ar ou a rotura de uma linha, este fica salvaguardado e não perde ar. O fornecimento de ar ao sistema é conseguido através do sistema pneumático do trator, e do seu compressor integrado, ou de um compressor independente. A PTG oferece duas opções de compressores para o segundo caso, um com maior caudal à saída e outro com menor, ambos alimentados pelo sistema hidráulico do trator. O sistema necessita de um reservatório de ar para o seu funcionamento, que pode ser o mesmo do sistema de travagem pneumática, caso ela exista. Se este for o caso, a PTG faz uso de uma válvula de segurança (*overflow valve*), que dá sempre prioridade ao sistema de travagem sobre o CTIS e assegura que a pressão no reservatório nunca é inferior a 6,5 bar. Caso não exista sistema de travagem pneumática, ou o cliente pretenda dois depósitos separados, a PTG disponibiliza a opção de adicionar um reservatório ao sistema.

A Figura 54 demonstra um exemplo de uma instalação de um CTIS da PTG num trator. Esta faz parte de um documento de descrição do sistema e inclui uma instalação pelo exterior nas rodas da frente (à esquerda) e uma instalação pelo interior nas rodas de trás (à direita).

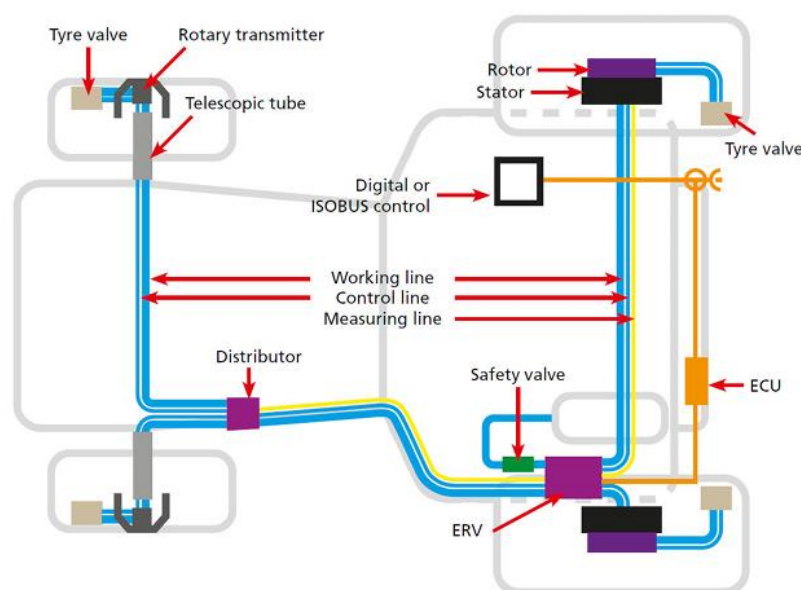


Figura 54 - Representação esquemática de instalação de CTIS (PTG, 2022a)

Desenvolvimento

O princípio de funcionamento do sistema é sempre igual, independentemente do veículo em que está instalado. O operador aciona um comando no painel de controlo dentro da cabine do trator, que é processado por uma ECU se ela existir (a ECU só existe em painéis com ISOBUS). Caso não exista ISOBUS, o comando é dado no painel de controlo digital fornecido pela PTG e é processado pelo mesmo, que por sua vez faz atuar uma válvula de regulação eletrónica ou *electronic regulation valve* (ERV). Esta abre e fecha as passagens de ar conforme o pretendido e está conectada ao reservatório, que fornece ar aos pneus caso se queira insuflar. É importante referir que não existe uma montagem padrão do CTIS, visto que esta varia muito conforme o tipo de veículo. Esta falta de uniformidade conduz à variação do número e do tipo de componentes de instalação para instalação, conforme as características do veículo (número de eixos, tipo de eixos, tipo de fornecimento de ar, entre outros).

O projeto da cisterna Herculano foi prova de como os CTIS podem existir de diferentes formas e com diferentes componentes, mas com o mesmo princípio de funcionamento. O sistema encomendado foi, naturalmente, adaptado à cisterna em causa e obrigou à tomada de algumas decisões. O CTIS adquirido foi totalmente instalado pelo interior e é composto por um compressor independente, um reservatório de ar apenas para o CTIS (existem outros para a travagem pneumática) e um painel de controlo digital. O sistema não utiliza ISOBUS e por isso não foi fornecido com uma ECU. Os eixos utilizados foram previamente preparados para incorporar o sistema e a encomenda contou ainda com seis uniões rotativas para a instalação interior, seis válvulas para os pneus e todos os restantes componentes necessários à instalação do sistema nos três eixos. A Figura 55 demonstra um exemplo do CTIS adquirido, com a falta de alguns componentes. A lista completa dos componentes do sistema utilizado encontra-se na Tabela 10 e está associada à Figura 55.



Figura 55 - Componentes do CTIS da PTG (PTG, 2022b)

Tabela 10 - Lista de componentes do CTIS da PTG

Item	Quantidade	Descrição
1	1	Painel de controlo digital da cabine
2	6	União rotativa para instalação interior
3	3	Válvula distribuidora e de esvaziamento (<i>quick bleed valve</i>)
4	1	Válvula de regulação eletrónica (<i>electronic regulation valve</i>)
5	6	Válvula de ar da roda
6	6	Ligação em Y
7	1	Válvula de segurança do reservatório da travagem pneumática (<i>overflow valve</i>)
8	6	Tampa com vedante para a união rotativa
9	1	Controlo eletrónico do compressor
10	---	Ligações elétricas e pneumáticas
Ausente na imagem	1	Compressor
Ausente na imagem	1	Reservatório de ar
Ausente na imagem	1	Manómetro

3.5.4.2. Eixos, suspensão e modelo da cisterna

A cisterna CH 24000 RG da Herculano é um modelo de grandes dimensões, composta por três eixos, que suportam um tanque de vinte e quatro mil litros. A cisterna projeto contou com mais novidades tecnológicas ademais do CTIS. Para além de um sistema direcional forçado eletrónico, a cisterna foi a primeira da Herculano a utilizar uma suspensão hidráulica. Esta oferece uma maior capacidade de carga, maior estabilidade durante a deslocação e também a possibilidade de elevar o eixo da frente quando a cisterna está vazia, o que permite reduzir o consumo de combustível e o desgaste dos pneus. A suspensão está incorporada no eixo e elimina a necessidade de uma suspensão *tridem*, visto que atua como amortecedor durante o movimento. Assim, os eixos e a suspensão hidráulica associada foram instalados diretamente no chassi da cisterna, conforme demonstrado na Figura 56.

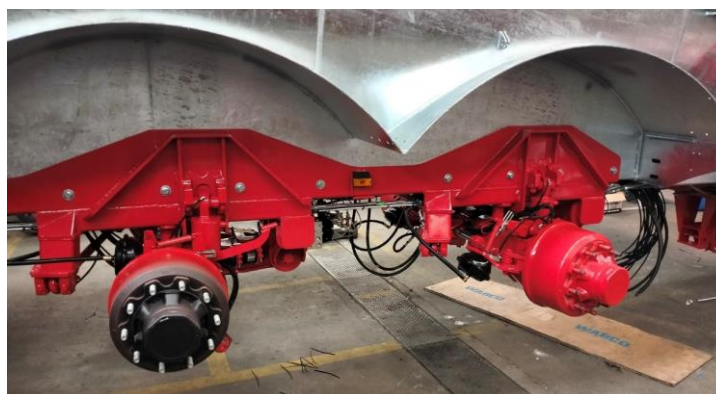


Figura 56 - Suspensão hidráulica e eixos instalados na cisterna

Desenvolvimento

Os eixos aplicados na cisterna foram preparados aquando da sua construção, para receberem o CTIS da PTG. A ADR, empresa fornecedora dos eixos à Herculano, tem uma parceria com a PTG, pelo que os eixos destinados a fazer uso do CTIS desta empresa são adaptados durante o fabrico para suportar o sistema. Estas adaptações incluem dois furos por onde passam as linhas de ar, um na parte superior e outro na extremidade do eixo, e ainda seis furos roscados onde encaixa a união rotativa na extremidade do eixo. O projeto da cisterna inclui um sistema de travagem pneumática, pelo que os eixos foram igualmente adaptados para a albergar.

De forma a determinar a posição ideal dos componentes do CTIS na cisterna, e visto que esta possui um elevado número de acessórios, o modelo tridimensional da cisterna foi desenhado como um conjunto em Solidworks, ao qual foram adicionados todos os elementos. Componentes como o compressor e o reservatório, relevantes no *layout* da cisterna devido à sua grande dimensão, foram fornecidos pela PTG sob a forma de desenho 3D, compatível com o Solidworks. Elementos do CTIS como tubos de ar e ligações elétricas não foram adicionados ao modelo tridimensional. Os desenhos técnicos dos eixos utilizados encontram-se em anexo, no qual o anexo C corresponde ao eixo fixo e o anexo D aos dois eixos direcionais.

3.5.4.3. Manuais do fornecedor

Com o propósito de instalar o sistema de forma correta foram utilizados diversos documentos de guia, fornecidos pela PTG. Os principais documentos de auxílio à instalação incluem um guia de instalação do sistema nos eixos, um manual de instalação geral e um manual de operação do compressor. A instalação do CTIS nos eixos adaptados deve ser feita segundo as indicações do fornecedor, para que este fique bem instalado. Esta é uma etapa crucial, pois a incorreta montagem dos componentes no eixo pode levar à danificação do mesmo. O guia disponibilizado pela PTG continha todos os detalhes da instalação, desde a ordem de montagem dos componentes até ao binário aplicado nos parafusos de fixação. Nesta fase instalaram-se as uniões rotativas nas extremidades dos eixos, as linhas de ar interiores e as ligações em Y na parte superior dos eixos. Na Figura 57 é possível observar uma representação da instalação dos componentes dos eixos.

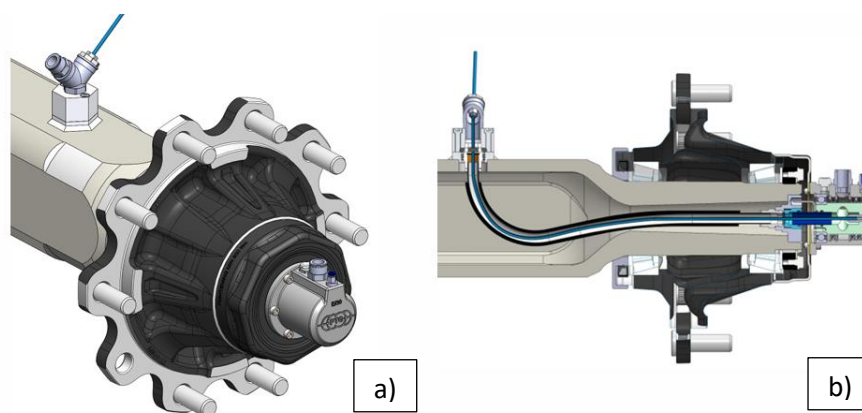


Figura 57 - Representação da instalação dos componentes do CTIS nos eixos: vista isométrica (a) e corte transversal (b) (PTG, 2025b)

A montagem do CTIS na cisterna efetuou-se segundo as instruções presentes no manual de instalação do sistema, que contém a explicação passo a passo da montagem. Este documento proporcionou toda a informação necessária à instalação, por esta ordem, das válvulas de ar das rodas, das válvulas distribuidoras e de esvaziamento, da válvula de controlo eletrónico, do reservatório de ar adicional, da válvula de segurança, do painel de controlo digital e das ligações pneumáticas e elétricas entre todos estes componentes. A Figura 58 mostra o esquema de ligação completo entre todos os componentes, incluindo as ligações elétricas e pneumáticas.

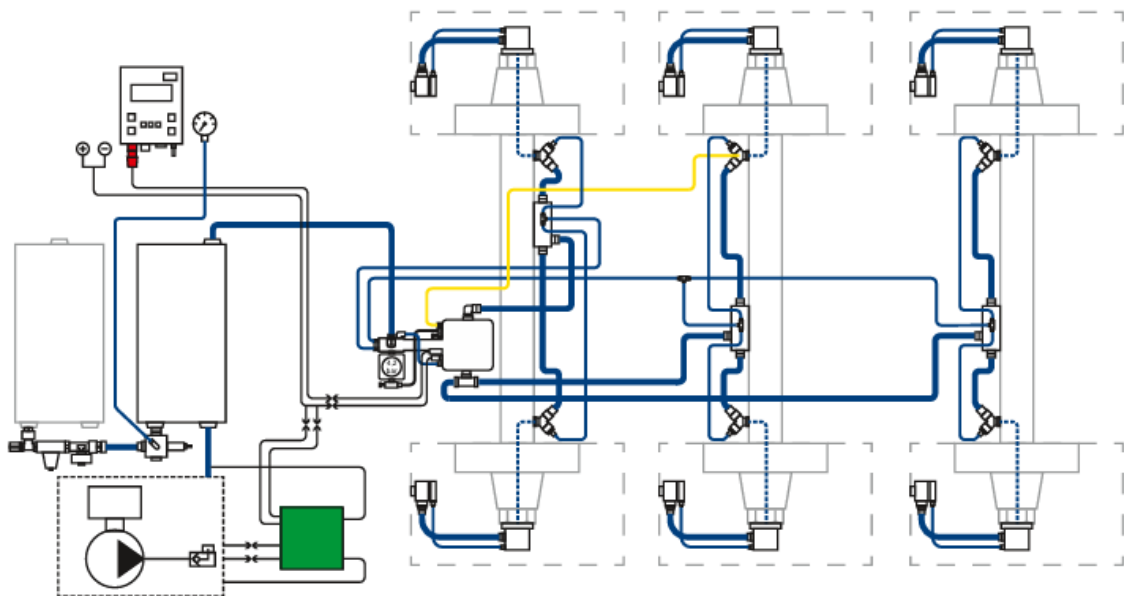


Figura 58 - Esquema de ligação dos componentes do CTIS (PTG, 2022b)

3.5.4.4. Compressor e reservatórios

O fornecimento de ar comprimido ao CTIS é obrigatório para que o CTIS funcione. Durante o projeto da cisterna, foi avaliado como este seria fornecido e considerou-se necessária a existência de um compressor independente. Este fator é de elevada importância, pois permite que a cisterna tenha sempre uma fonte de ar comprimido e não dependa do trator a que está acoplada. Dado que apenas os tratores mais recentes possuem um sistema pneumático com um compressor, esta decisão assegura que a cisterna possa ser utilizada por qualquer trator. Esta possibilidade é particularmente relevante em Portugal, dado que o parque de máquinas agrícolas do país é relativamente envelhecido.

A PTG dispõe de dois modelos de compressor para o CTIS, designadamente o V2000 e o V4000, caso se pretenda um sistema de fornecimento de ar independente. Ambos são alimentados pelo sistema hidráulico do trator e têm um design compacto. Os detalhes técnicos e as diferenças entre os dois modelos estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Especificações técnicas dos compressores V2000 e V4000 (PTG, 2023)

	V2000	V4000
Caudal de ar à saída	2000 l/min	4000 l/min
Caudal mínimo de óleo à entrada	55 l/min	75 l/min
Pressão máxima do compressor	8 bar	8 bar

O compressor V4000 tem mais capacidade do que o V2000, representada pelo caudal de ar à saída do compressor que, na prática, se traduz num menor tempo de insuflação das rodas. Os caudais de óleo requeridos por ambos os compressores são relativamente baixos e suportáveis por praticamente todos os tratores. O compressor adquirido para equipar o CTIS da cisterna foi o V4000, escolhido com o intuito de obter um menor tempo de insuflação possível e também devido à possível incapacidade de o compressor V2000 para alimentar as seis rodas e todo o sistema. O compressor deve ser instalado num local de fácil acesso e numa posição horizontal, tal como demonstrado na Figura 59.



Figura 59 - Exemplo de instalação do compressor numa cisterna (PTG, 2023)

Para além do compressor V4000, de grande capacidade, o CTIS foi projetado com um reservatório de ar adicional. Este reservatório foi fornecido pela PTG e é utilizado exclusivamente para o CTIS. O sistema de travagem pneumática fez uso de dois reservatórios de ar ligados em série, elevando a três o número total de depósitos de ar comprimido na cisterna. A decisão de utilizar dois reservatórios para a travagem em vez de só um deve-se à grande dimensão da cisterna, que no caso de uma travagem de emergência, tem de ser eficaz

(especialmente se a cisterna estiver cheia). A montagem das ligações entre o compressor, os reservatórios e o restante circuito do CTIS foi realizada segundo as instruções do manual de operação do compressor. Na Figura 60 é possível observar o esquema de montagem dos componentes.

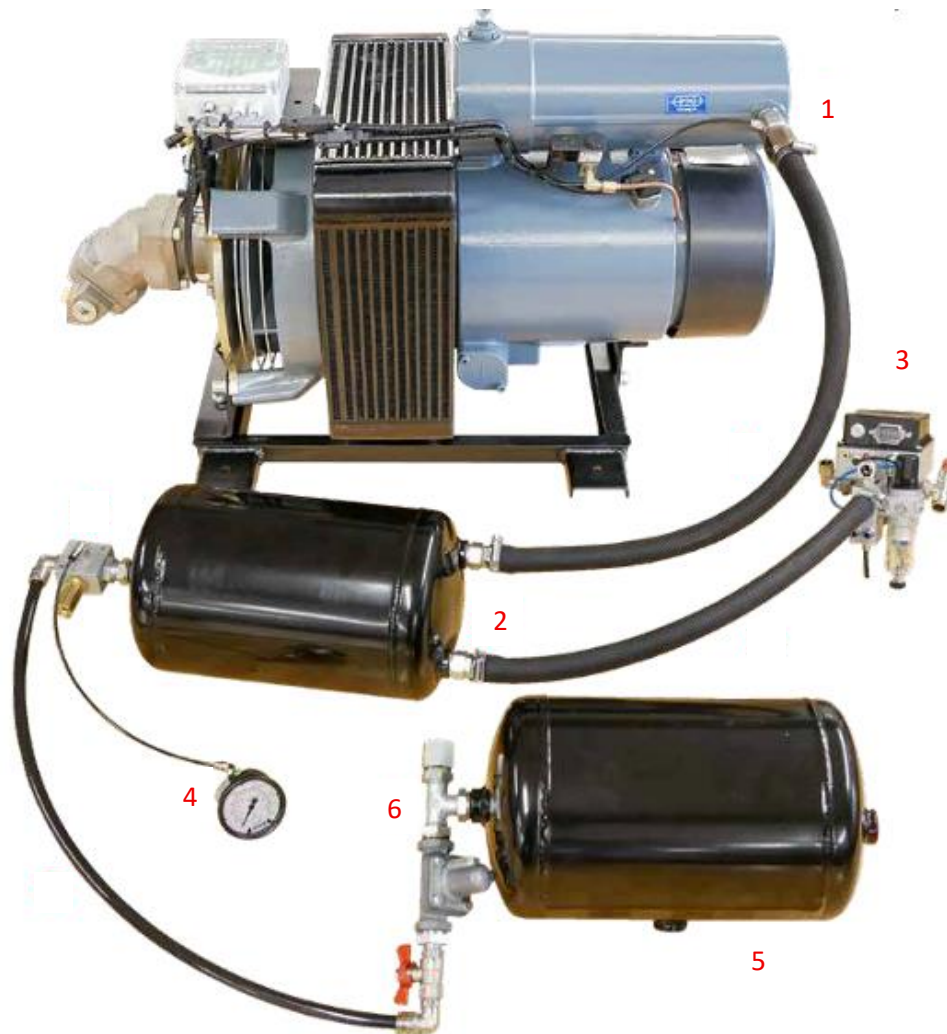


Figura 60 - Esquema de montagem do compressor, dos reservatórios e dos restantes componentes (PTG, 2023)

Como demonstrado na Figura 60, o compressor (1) está diretamente conectado ao reservatório adicional (2), cuja função é unicamente alimentar o CTIS com ar comprimido. Para tal, este está também diretamente ligado à ERV (3) que, posteriormente, faz a distribuição de ar pelo sistema. Na terceira saída de ar do reservatório existe um manómetro (4) para verificar a pressão interior. Esta saída está conectada aos reservatórios de ar da travagem pneumática (5; apenas um representado na imagem), nos quais à entrada está instalada a válvula de segurança (6), que assegura que a pressão nestes dois depósitos nunca é inferior a 6,5 bar (valor mínimo para o funcionamento da travagem pneumática). Caso o CTIS esteja a consumir ar comprimido dos reservatórios da travagem, a válvula impede a passagem de ar antes que a pressão baixe deste valor.

3.5.4.5. Pneus

A escolha dos pneus a utilizar num equipamento agrícola é sempre de grande importância e, ainda mais, quando o veículo utiliza um sistema de controlo da pressão dos pneus. Fatores como a capacidade de carga do pneu, capacidade de tração em solo agrícola, desempenho na estrada e no campo, capacidade de redução da compactação do solo, eficiência em termos de combustível e durabilidade são todos influenciadores dos pneus a equipar um determinado veículo agrícola. Outro detalhe importante na escolha dos pneus prende-se com o comportamento dos mesmos quando sujeitos às pressões exigidas por um CTIS. Estas podem variar de valores mínimos, como 1 bar, até valores máximos de 6 bar, a título de exemplo, em função da carga que a cisterna transporta. Atualmente, os principais fabricantes de pneus agrícolas já disponibilizam pneus fabricados e desenhados para serem aplicados em veículos que incorporem um CTIS. Estes pneus têm grande flexibilidade e capacidade de deformação, e conseguem suportar grandes cargas, mesmo a baixas pressões.

Os pneus escolhidos para equipar a cisterna desenvolvida são da marca Mitas, uma das fornecedoras de pneus da Herculano. O modelo dos pneus é o Agriterra 03, próprio para a utilização num veículo com CTIS. Estes pneus foram criados de forma a terem uma ampla área de contacto, propriedades de autolimpeza, elevada capacidade de carga e uma baixa resistência ao rolamento. Estas características garantem ao cliente uma redução da compactação dos solos agrícolas e do consumo de combustível na estrada. Na Figura 61 apresenta-se o pneu em questão.



Figura 61 - Pneu Mitas Agriterra 03 utilizado na cisterna (Mitas, 2022)

Na designação da cisterna segundo o nome Herculano (CH 24000 RG) a sigla “RG” significa rodas grandes, o que se traduz na dimensão do pneu, que é 750/60 R 30.5 (750 mm de largura, 60% de perfil, ou seja, altura/largura, e jante de 30.5 polegadas). A utilização do CTIS tem de ter em conta os pneus que estão a ser usados, para garantir que não são ultrapassadas as pressões limite do pneu. Estas pressões são estabelecidas pelo fabricante e variam consoante a carga e

a velocidade. Na Figura 62 observa-se a tabela das capacidades de carga do pneu Agriterra 03, para as pressões e velocidades indicadas.

Capacidade de Carga (kg) à pressão (bar)									Velocidade (km/h)
1.00	1.20	1.60	2.00	2.40	2.80	3.20	3.60	4.00	
3680	4110	4970	5830	6690	7080	7470	7860	8250	65
4453	4973	6014	7054	8095	8567	9039	9511	9983	50
5005	5590	6759	7929	9098	9629	10159	10690	11220	40
5557	6206	7505	8803	10102	10691	11280	11869	12458	30
6624	7398	8946	10494	12042	12744	13446	14148	14850	10

Figura 62 - Capacidade de carga do pneu Agriterra 03 consoante a pressão e a velocidade (Mitas, 2022)

O cálculo da carga a que o pneu está sujeito é feito dividindo a carga total pelo número de rodas. Como exemplo, assumindo que a cisterna está cheia de água, os 24000 l equivalem a 24000 kg. Ao dividir este valor pelas seis rodas obtém-se que cada pneu está sujeito a 4000 kg. Ao analisar a Figura 62 percebe-se que o pneu tem capacidade para suportar praticamente toda a gama de pressões e velocidades. A situação mais preocupante acontece quando o pneu está com uma pressão baixa e a cisterna se move a grande velocidade. Esta circunstância é altamente improvável, visto que os pneus a baixa pressão só são utilizados em trabalho de campo e, nestes locais, nunca se atingem velocidades tão elevadas. A cisterna desenvolvida está destinada à fertilização de terrenos agrícolas, pelo que o líquido a transportar é o chorume, cuja composição é maioritariamente água. Deste modo, entende-se que os pneus utilizados na cisterna são apropriados para as condições a que estarão sujeitos.

3.5.4.6. Controlo digital do sistema

O controlo do CTIS é efetuado a partir do painel digital fornecido pela PTG, que está instalado na cabine do trator. Este tem como função receber o comando dado pelo operador, processá-lo e dar ordem à ERV para insuflar ou desinsuflar os pneus. O painel tem apenas um cabo de ligação que se divide em dois e está, posteriormente, conectado à ERV e ao controlo eletrónico do compressor. É importante referir que, para o caso em questão, o processamento de sinal é realizado pelo painel digital e não existe uma ECU para tal. Este componente só é fornecido em CTIS com controlo ISOBUS, nos quais a ECU é responsável pelo processamento de sinal entre o painel de controlo ISOBUS e a ERV. Caso exista a função ISOBUS no CTIS encomendado, o painel de controlo digital não é fornecido com o resto do sistema. A PTG também não fornece painéis de controlo ISOBUS, pelo que se for necessário o cliente terá de o adquirir a outra entidade.

O painel de controlo digital fornecido pela PTG encontra-se representado na Figura 63. Este possui a capacidade de armazenar duas pressões pré-definidas pelo operador, uma baixa para o movimento em solo agrícola e uma alta para deslocações em estrada.

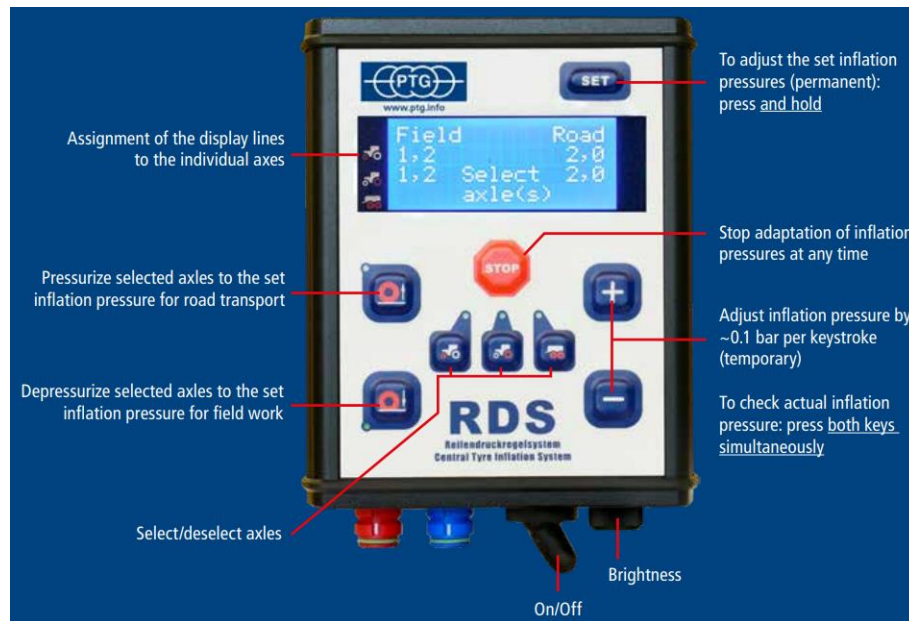


Figura 63 - Modelo do painel de controlo digital fornecido pela PTG (PTG, 2025a)

3.5.4.7. Construção do protótipo

Concluída a fase de projeto da cisterna, iniciou-se a sua construção. De seguida apresentam-se algumas imagens referentes à fase de construção, realçando os aspetos mais importantes da instalação do sistema de controlo da pressão dos pneus. A instalação do CTIS começou pelas ligações em Y, instaladas na parte superior dos eixos e pelas uniões rotativas, instaladas nas extremidades dos eixos, tal como demonstrado na Figura 64. As ligações em Y foram os primeiros componentes a ser montados devido a se encontrarem localizadas numa zona de difícil acesso.

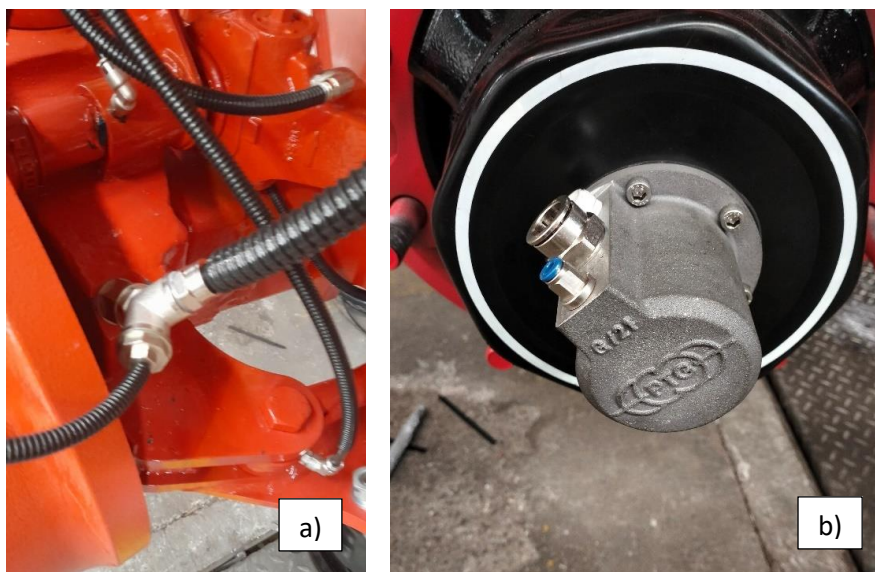


Figura 64 - Instalação das ligações em Y (a) e das uniões rotativas (b) nos eixos

De seguida instalaram-se as rodas nos eixos e efetuaram-se as ligações pneumáticas entre as uniões rotativas e as válvulas de ar das rodas. Para a fixação destas nas rodas e acesso ao ar dentro do pneu foi necessário efetuar um furo na jante, de acordo com as especificações da PTG. A vedação da válvula na junção à jante foi realizada com um vedante líquido fornecido pela empresa. Na Figura 65 é possível verificar a instalação final destes componentes.



Figura 65 - Instalação das válvulas de ar das rodas e ligação com as uniões rotativas

Após a montagem dos componentes das rodas e dos eixos instalaram-se os dois reservatórios de ar da travagem pneumática, por debaixo da cisterna. Estes estão ligados entre si numa configuração em série e funcionam como um reservatório de grande dimensão. À entrada do reservatório que liga ao CTIS foi instalada a válvula de segurança, tal como demonstrado na Figura 66.



Figura 66 - Instalação dos depósitos de ar da travagem pneumática e da válvula de segurança

Desenvolvimento

A ERV foi instalada próxima dos reservatórios da travagem, na face lateral do chassi da cisterna. Esta encontra-se representada na Figura 67.



Figura 67 - ERV após instalação

O compressor e o reservatório de ar do CTIS foram instalados na parede lateral da cisterna, de forma a aproveitar o espaço existente. Estes estão próximos dos reservatórios da travagem e da ERV, com o objetivo de facilitar as ligações do ar. No compressor V4000 foi ainda instalada uma caixa de proteção. A instalação destes elementos pode ser observada na Figura 68.



Figura 68 - Instalação do compressor e do reservatório do CTIS na parede lateral da cisterna

Na Figura 69 (a) é possível observar a instalação do manómetro medidor da pressão no reservatório do CTIS e o controlador eletrónico do compressor. O painel de controlo digital do sistema não foi instalado em local nenhum, devido à ausência de um trator e encontra-se na Figura 69 (b).

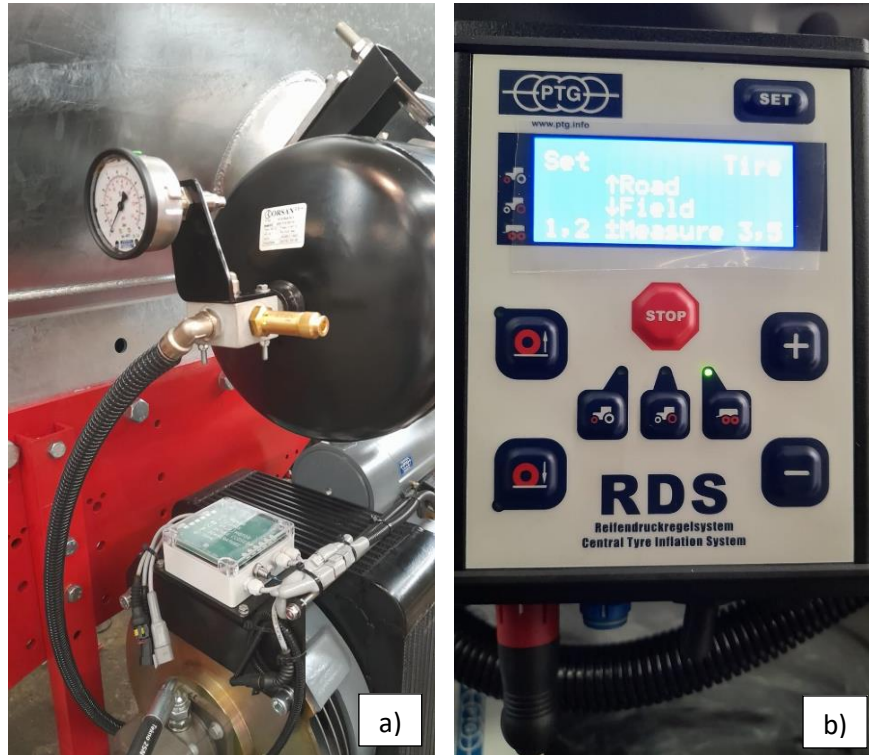


Figura 69 - Instalação do manómetro e do controlo eletrónico do compressor (a) e teste do painel de controlo digital do CTIS (b)

A cisterna foi construída com o propósito de exibir a qualidade dos produtos Herculano e as mais recentes inovações da empresa, no recém-criado Dia Herculano 2024. Assim, na Figura 70 é possível observar a cisterna em exibição, na 1ª edição do Agritec Day Herculano.



Figura 70 - Cisterna em exibição no Agritec Day Herculano 2024 (Revista Voz do campo, 2024)

3.5.5. Plano de manutenção

O sistema de controlo da pressão dos pneus da PTG foi criado com o intuito de requerer pouco trabalho de manutenção. O design de duas linhas assegura uma maior longevidade dos componentes do sistema, graças à despressurização das ligações pneumáticas, regulada pela linha de controlo. O CTIS foi desenvolvido com o objetivo de operar por 10000 horas sem qualquer trabalho de manutenção. Destas 10000 horas de operação, a PTG estima que o sistema esteja pressurizado apenas entre 500 e 1000, quando os pneus estão a ser insuflados ou desinsuflados, o que se traduz numa elevada longevidade dos componentes, principalmente dos vedantes e das uniões rotativas.

A PTG recomenda que o sistema seja drenado com regularidade, devido à possibilidade de existir água no circuito pneumático. Esta ação é realizada na purga existente na válvula ERV. O mesmo procedimento é aplicado aos reservatórios de ar, que devem ser drenados com regularidade. As uniões rotativas das rodas possuem um enchimento permanente de massa lubrificante e não necessitam de qualquer ação de manutenção. O compressor V4000 requer que sejam mudados o óleo e o filtro do óleo uma vez por ano. Este modelo consome 7 l de óleo por muda e apenas podem ser utilizados óleos sintéticos próprios para compressores rotativos. O filtro do ar do compressor deve ser verificado e soprado regularmente, ou até diariamente se a cisterna estiver a trabalhar em condições com muita poeira. Este deve ser trocado quando necessário, não existindo um tempo de vida útil especificado pela PTG. A cisterna possui ainda um sistema de lubrificação central, que lubrifica com regularidade as ligações mecânicas mais importantes, nomeadamente componentes do sistema DFE.

3.5.6. Análise de custos

A implementação do sistema de controlo da pressão dos pneus exigiu uma análise de custos. Esta teve em consideração o custo de total do sistema, assim como os custos associados à montagem. Na Tabela 12 é possível observar a análise realizada.

Tabela 12 - Análise financeira do projeto do CTIS

Tipo	Custo	Descrição
Kit CTIS de linha dupla para 3 eixos, com controlo digital	5318,85 €	Sem compressor incluído; inclui todos os acessórios necessários à instalação; tubos pneumáticos gratuitos na primeira instalação; inclui o transporte
Compressor V4000 com controlo eletrónico	5248 €	Sem caixa de proteção incluída; inclui todos os acessórios necessários à instalação; inclui o transporte
Caixa de proteção do compressor V4000	430,50 €	Inclui o transporte
Mão de obra	1900 €	Cerca 40 horas de montagem, com 5 trabalhadores a receber 9,5 €/hora
Total	12897,35 €	

Ao verificar o custo total do projeto do CTIS, constata-se que este valor é bastante considerável. O CTIS da PTG é, atualmente, o mais reconhecido no mercado europeu e, graças a este reconhecimento, tem uma elevada procura. O produto adquirido tem um elevado nível de qualidade e é esperado que se mantenha em boas condições de funcionamento durante muitos anos. A PTG beneficia de alguma falta de concorrência no mercado europeu e do reconhecimento do seu produto, para manter a sua posição de liderança no mercado. Estes dois fatores incrementam o preço do sistema, o que contribui para um aumento do preço final do produto Herculano. O CTIS encontra-se disponível como um novo opcional nos produtos Herculano e só será instalado na alfaia se o cliente o pretender.

4. Conclusão

4.1. Conclusões finais

A presente dissertação teve como objetivo descrever a implementação de duas novas tecnologias, em duas cisternas diferentes da empresa Herculano. Estas inovações consistem num sistema de apoio à manobrabilidade e num sistema de controlo da pressão dos pneus, que tinham como principal missão, respetivamente, aumentar a capacidade de manobrabilidade de reboques e cisternas agrícolas de grande dimensão e reduzir a compactação dos solos agrícolas. A implementação de ambos os sistemas decorreu de forma bem-sucedida e como planeado.

O sistema DFE foi implementado de forma rápida e beneficiou da experiência da empresa com sistemas DFC, o que facilitou o processo. A instalação do sensor de ângulo da lança foi mais complexa que os outros componentes, devido à necessidade de o adaptar ao trator. A configuração do sistema necessitou da presença de um especialista da empresa fornecedora, visita que só acontece na primeira montagem, após a qual a instalação passa a ser realizada inteiramente pelos técnicos da Herculano. Na cisterna o sistema DFE fica praticamente invisível ao olhar exterior, visto que a maioria dos seus componentes estão instalados por debaixo do chassi. A cisterna fabricada teve entrega acompanhada ao cliente, na qual foi possível comprovar a eficiência operacional do sistema. No futuro é esperado que os sistemas DFE ganhem cada vez mais popularidade sobre os sistemas DFC.

O sistema de controlo da pressão dos pneus necessitou de um estudo bastante aprofundado sobre o seu funcionamento e de diversas interações com a empresa fornecedora, para confirmar a sua aplicabilidade na cisterna em causa. A organização do espaço circundante à cisterna e a localização dos componentes do CTIS foi a etapa mais desafiante, dada a quantidade de acessórios e sistemas tecnológicos presentes. A decisão de utilizar três reservatórios de ar no sistema, um somente para o enchimento dos pneus e dois para a travagem pneumática, foi crucial para garantir que tanto o CTIS como a travagem são eficazes. A escolha do compressor V4000 foi igualmente importante para garantir a eficácia do CTIS, dado que o compressor V2000 provavelmente seria bastante mais lento a completar o enchimento dos pneus. Esta tecnologia é totalmente nova na empresa e é esperado que tenha elevado sucesso a nível comercial, dado o aumento da popularidade destes sistemas nos últimos anos.

Os dois sistemas são aplicáveis em qualquer alfaia Herculano que tenha rodas, embora sejam apenas disponibilizados em reboques e cisternas de grande dimensão, onde faz mais sentido serem usados. Ambos são altamente vantajosos para os agricultores já que, apesar dos custos

Conclusão

iniciais, compensam o seu investimento com melhores colheitas. Os sistemas propostos foram facilmente integrados na linha de produção das cisternas, sem exigirem alterações relevantes ao processo. A implementação destas duas tecnologias representou um marco importante para a Herculano, que se tornou pioneira na sua aplicação em equipamentos agrícolas nacionais e reforçou o seu estatuto de empresa líder em inovação tecnológica no setor agrícola em Portugal.

4.2. Limitações e trabalhos futuros

O sistema DFE apresenta a limitação de necessitar de ser adaptado ao trator que vai utilizar a cisterna. Caso o agricultor pretenda acoplar a um trator diferente daquele a que a cisterna foi originalmente adaptada, este terá de fazer a adaptação por si, ou chamar a assistência técnica da Herculano.

O sistema de controlo da pressão dos pneus possui a limitação de necessitar de algum tempo para insuflar os pneus (pelo menos 2 minutos para incrementar a pressão de 1,5 bar para 3,5 bar). Este tempo de espera pode ser prejudicial para os utilizadores que têm de fazer a transição campo-estrada e estrada-campo múltiplas vezes durante uma operação agrícola. Esta restrição pode ser mitigada pelo uso de um compressor mais potente, mais reservatórios de ar ou pressões mais elevadas nos reservatórios existentes.

No futuro a Herculano poderá equacionar a aplicação de um sistema DFE como o *SmartTronic* (Figura 19), que utiliza um giroscópio para detetar os movimentos do trator e elimina o problema da adaptação do sensor da lança a diferentes tratores, referido anteriormente. A empresa poderia também obter acesso ao protocolo de comunicação ISOBUS, o que expandiria ainda mais o seu leque de clientes e poderia ser integrado tanto no sistema DFE como no CTIS. Ao observar as tendências do mercado de equipamentos agrícolas verifica-se que existem novas tecnologias a surgir, que a Herculano poderia ponderar, nomeadamente a utilização de eixos de via variável (variam a distância entre as rodas).

Referências

- Abares (2019). Agricultural commodities: Commodity forecasts and outlook (relatório governamental). Canberra, Austrália
- Abrahám, R., Majdan, R., & Drlička, R. (2019). Special tractor driving wheels with two modification of spikes inclination angle, *Agronomy Research*, 17(2), 333-342
- Adelman, I. (1999). Fallacies in development theory and their implications for policy (relatório interno). University of California at Berkeley. Berkeley, EUA
- ADR (2023a). Smartdrive installation manual (manual de instalação do sistema). Uboldo, Itália
- ADR (2023b). Electronic steering system overview (powerpoint de apresentação do sistema). Uboldo, Itália
- ADR (2024). SmartDrive: Controla tu camino! (documento promocional). Zaragoza, Espanha
- Aiello, G., Giovino, I., Vallone, M., Catania, P., & Argento, A. (2018). A decision support system based on multisensor data fusion for sustainable greenhouse management, *Journal of Cleaner Production*, 172, 4057-4065
- Almeida Bessa, J., Almeida Barroso, D., Rego Da Rocha Neto, A. & De Alexandria, A. (2015). Global location of mobile robots using artificial neural networks in omnidirectional images, *IEEE Latin America Transactions*, 13(10), 3405-3414
- Amazone (2024). SingleTrail passive steering. Acedido em: setembro de 2024. Disponível em: <https://amazone.co.uk/en-gb/products-digital-solutions/agricultural-technology/crop-protection/trailed-sprayer/singletrail-passive-steering-418804>
- Anderson, K. (2022). Agriculture in a more uncertain global trade environment, *Agricultural Economics*, 53(4), 563–579
- Antunes, P., Thuan, N. H. & Johnstone, D. (2022). Nature and purpose of visual artifacts in design science research, *Information Systems and E-Business Management*, 20, 515-550
- Asha, K. N., Gahana, N., Gowda, S., Harsha, C., R., & Chandana, D., M. (2023). Agriculture automation system using machine learning and internet of things, *International Journal of Engineering and Management Research*, 13(3), 163-167
- Azmi, H., Hajjaj, S., Gsangaya, K., Sultan, M., Mail, M. & Hua, L. (2023). Design and development of an agricultural robot for crop seeding, *Materials Today Proceedings*, 81(2), 283-289
- AZO Robotics (2024). The rise of drones in modern agriculture. Acedido em: março de 2025. Disponível em: <https://www.azorobotics.com/Article.aspx?ArticleID=699>
- Bac, C. W., van Henten, E., Hemming, J., & Edan, Y. (2014). Harvesting robots for high-value crops: State-of-the-art review and challenges ahead, *Journal of Field Robotics*, 31(6), 888-911

Referências

- Bechar, A. (2010). Robotics in horticultural field production, *Stewart Postharvest Review*, 6, 1-11
- Bechar, A., & Vigneault, C. (2017). Agricultural robots for field operations - Part 2: Operations and systems, *Biosystems Engineering*, 153, 110–128
- Blanco-Canqui, H. and Jasa, P. J. (2019). Do grass and legume cover crops improve soil properties in the long term?, *Soil Science Society of America Journal*, 83(4), 1181-1187
- Briney, A. (2019). All you wanted to know about the green revolution. ThoughtCo. Acedido em: dezembro de 2024. Disponível em: <https://www.thoughtco.com/green-revolution-overview-1434948>
- Cardoso de Jesus, L., & Peres, W. (2023). Os impactos da utilização de drones na agricultura, *Revista Contemporânea*, 3(11), 22713-22736
- Cariou, C., Lenain, R., Thuilot, B., & Martinet, P. (2010). Autonomous maneuver of a farm vehicle with a trailed implement: Motion planner and lateral-longitudinal controllers. Artigo apresentado em IEEE International Conference on Robotics and Automation, Anchorage, EUA
- Chamen T. (2015). Controlled traffic farming - from worldwide research to adoption in Europe and it's future prospects, *Acta Technologica Agriculturae*, 18(3), 64-67
- CNBC (2016). Future of farming: Driveless tractors, ag robots. Acedido em: março de 2025. Disponível em: <https://www.cnbc.com/2016/09/16/future-of-farming-driverless-tractors-ag-robots.html>
- CNH (2014). CNH industrial brand launches the world's most powerful combine harvester. Acedido em: março de 2025. Disponível em: <https://media.cnh.com/north-america/cnh/cnh-industrial-brand-launches-the-world-s-most-powerful-combine-harvester/s/de0ad696-7243-4f2f-8543-4d0c7593ef17>
- Costa, M. J. R., Gouveia, R. M., Silva, F. J. G., & Campilho, R. D. S. G. (2018). How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3041–3063
- de Saxe, C., & Cebon, D. (2019). Estimation of trailer off-tracking using visual odometry, *Vehicle System Dynamics*, 57(5), 752-776
- Dethier, J. J., & Effenberger, A. (2012). Agriculture and development: A brief review of the literature, *Ecologic Systems*, 36, 175–205
- Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (2025). Regulamentos da UE relativos a tratores agrícolas e florestais. Acedido em: março de 2025. Disponível em: <https://www.dgadr.gov.pt/mecanizacao/reg-ue-trat-agr-florestais>
- Dwivedi, D., Lepková, K., & Becker, T. (2017). Carbon steel corrosion: a review of key surface properties and characterization methods, *RSC advances*, 7(8), 4580-4610
- Fendt (2025). Fendt wallpaper collection. Acedido em: março de 2025. Disponível em: <https://www.fendt.com/int/downloads/wallpaper>

- Ferpinta (2025). Ferpinta history. Acedido em: setembro de 2024. Disponível em: <https://www.ferpinta.pt/en/ferpinta-en/history-en/>
- Furuhashi, G., & H. Gay (2017). Market implications of integration of Asian rice markets. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, 108
- Gautam, M. (2022). Repurposing agricultural policies and support: Options to transform agriculture and food systems to better serve the health of people, economies and the planet (relatório interno). World Bank and IFPRI. Washington DC, EUA
- Geerts, G. L. (2011). A design science research methodology and its application to accounting information systems research, *International journal of accounting Information Systems*, 12(2), 142-151
- Goodarzi, A., & Mohammadi, M. (2013). Stability enhancement and fuel economy of the 4-wheel-drive hybrid electric vehicles by optimal tyre force distribution, *Vehicle System Dynamics*, 52(4), 539–561
- Grečenko, A. (1984). Operation on steep slopes: State-of-the-art report, *Journal of Terramechanics*, 21(2), 181-194
- Gürel, E. (2017). SWOT analysis: a theoretical review, *Journal of International Social Research*, 10(51), 994–1006
- Hagan, R., Markey, E., Clancy, J., Keating, M., Donnelly, A., O'Connor, D. J., Morrison, L., & McGillicuddy, E. J. (2023). Non-road mobile machinery emissions and regulations, *AIR Journal*, 1, 14–36
- Herculano (2024a). Plataforma HP. Acedido em: setembro de 2024. Disponível em: <https://herculano.pt/reboques-multifuncoes/plataforma-hp/>
- Herculano (2024b). Configurador Herculano: considerações gerais. Acedido em: setembro de 2024. Disponível em: <https://herculano.pt/cost-calculator/>
- Herculano (2025a). Homologação Europeia: enquadramento e principais alterações. Acedido em: março de 2025. Disponível em: <https://herculano.pt/noticias/homologacao-europeia-enquadramento-e-principais-alteracoes>
- Herculano (2025b). Herculano: a empresa. Acedido em: setembro de 2024. Disponível em: <https://herculano.pt/about-us/>
- Huang, H., Tang, Y., Tan, Z., Zhuang, J., Hou, C., Chen, W. & Ren, J. (2022). Object-based attention mechanism for color calibration of uav remote sensing images in precision agriculture, *IEEE*, 60, 1-16
- Hu, S., Fu, W., Li, Y., Cong, Y., Shang, Y. & Meng, Z. (2019). Research on automatic steering control system of full hydraulic steering tractor, *Springer Nature Switzerland*, 545, 517-528
- Hydac (2024). SmartTronic: La trajectoire parfaite (documento promocional). Steenbecque, França

Referências

- Isakov, E. (2008). *Cutting Data for Turning of Steel*. Industrial Press Inc.: EUA
- Islam, M. M., & He, Y. (2011). An optimal preview controller for active trailer steering systems of articulated heavy vehicles. SAE Technical Paper
- Jamali, H., Nachimuthy, G., Palmer, B., Hodgson, D., Hundt, A., & Nunn, C. (2021). Soil compaction in a new light: Knowing the cost of doing nothing - a cotton case study, *Soil & Tillage Research*, 213, 105-158
- Jornal oficial da União Europeia (2016). Tratado sobre o funcionamento da União Europeia (versão consolidada). Acedido em: dezembro de 2024. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9e8d52e1-2c70-11e6-b497-01aa75ed71a1.0019.01/DOC_3&format=PDF
- Kassaeiyan, P., Tarvirdizadeh, B., & Alipour, K. (2019). Control of tractor-trailer wheeled robots considering self-collision effect and actuator saturation limitations, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 127, 388-411
- Khadem, M., Penkov, O. V., & Yang, H. K. (2017). Tribology of multilayer coatings for wear reduction: A review, *Friction*, 5, 248–262
- Lamiroux F., & Laumond J. P. (1998). A practical approach to feedback control for a mobile robot with trailer. Artigo apresentado em IEEE International conference on Robotics and Automation, Louvain, Belgique
- Lee, C. H. S., Phang, S. K., & Mun, H. K. (2021). Design and implementation of an agricultural uav with optimized spraying mechanism, *EDP Sciences*, 35, 1-18
- Lee, C. J., Martin, R. V., Henze, D. K., Brauer, M., Cohen, A., & Donkelaar, A. (2015). Response of global particulate-matter-related mortality to changes in local precursor emissions, *Environmental Science & Technology*, 49, 4335–4344
- Li, H., Yuan, J., Lv, T., & Chang, X. (2016). The two-echelon time-constrained vehicle routing problem in linehaul-delivery systems considering carbon dioxide emissions, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 49(1), 231-245
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. (1997). *Assessment of plant nutritional status: Principles and applications*, Scientific Research: An Academic Publisher
- Mampuya, M. B., Umba, M. C., Mutombo, K., & Olubambi, P. A. (2021). Effect of heat treatment on the microstructure of duplex stainless steel 2205, *Materials Today: Proceedings*, 38, 1107-1112
- Martelli, S., Mocera, F., & Somà, A. (2023). Carbon footprint of an orchard tractor through a life-cycle assessment approach, *Agriculture*, 13(6), 1-11
- Martin, S., Rieple, A., Chang, J., Boniface, B., & Ahmed, A. (2015). Small farmers and sustainability: Institutional barriers to investment and innovation in the Malaysian palm oil industry in Sabah, *Journal of Rural Studies*, 40, 46-58

- Mass, Y. & Amir, O. (2017). Topology optimization for additive manufacturing: Accounting for overhang limitations using a virtual skeleton, *Engineering, Materials Science and Additive manufacturing*, 18, 1-31
- McCalla, A. F. (2001). Challenges to world agriculture in the 21st century, *Agricultural and Resource Economics*, 4
- Michelin (2025). Central tyre inflation system (CTIS): adjust your agricultural tyre pressure on the move. Acedido em: abril de 2025. Disponível em: <https://business.michelin.co.uk/service/ctis-agricultural-tyre-inflator>
- Miranda-Ackerman, M. A., & Azzaro-Pantel, C. (2017). Extending the scope of eco-labelling in the food industry to drive change beyond sustainable agriculture practices, *Journal of Environmental Management*, 204(3), 814-824
- Mississippi State University (2014). Compacted soil prevents ideal root development. Acedido em: abril de 2025. Disponível em: <http://extension.msstate.edu/news/feature-story/2014/compacted-soil-prevents-ideal-root-development>
- Mitas (2022). Agriterrra: A nova geração de pneus agrícolas velozes e potentes (ficha técnica).
- Morris, P. W. G. (2013). *Reconstructing project management*. Wiley Blackwell
- Oberti, R., & Shapiro, A. (2016). Advances in robotic agriculture for crops, *Biosystems Engineering*, 146, 1-2
- OECD (2023). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032 (relatório interno)*. Publicações OECD. Paris, França
- Oksanen, T., & Backman, J. (2016). Implement Guidance model for ISO 11783 standard, 49(16), 33-38
- Our World in Data (2019). Agricultural output, 1961 to 2019. Acedido em: fevereiro de 2025. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/agricultural-output-dollars>
- Our World in Data (2022). Share of land area used for arable agriculture, 1961 to 2022. Acedido em: fevereiro de 2025. Disponível em: <https://ourworldindata.org/grapher/share-of-land-area-used-for-arable-agriculture?tab=chart&country=~PRT>
- Panesar, M., Abdi, D., Hickman, I. (2018). Ashcroft strategies for functionally graded lattice structures derived using topology optimization for additive manufacturing, *Additive Manufacturing*, 19, 81-94
- Pinheiro, M. (1997). *Séries Históricas Anuais para a economia portuguesa no período pós-Segunda Guerra Mundial*. Banco de Portugal
- Pinto Soares, J. (2010). *Aços: Características e tratamentos (6.ª edição)*. Publindústria
- PORDATA (2022). *Estatísticas: Agricultura, Florestas e Pesca (relatório interno)*
- Project Management Institute (2021). *A guide to the project management body of knowledge: PMBOK Guide (7.ª edição)*. Project Management Institute

Referências

- PTG (2025a). Tyre inflation systems for agricultural tractors and self-propelled machines (documento de apresentação do sistema). Neuss, Alemanha
- PTG (2025b). Installation guide for PTG 2-line rotary union using the example of fixed axle (guia de instalação do sistema nos eixos). Neuss, Alemanha
- PTG (2023). Air supply system V2000/V4000 for trailers with electronic compressor controller: operating instructions (manual de operação dos compressores V2000 e V4000). Neuss, Alemanha
- PTG (2022a). Central Tire Inflation System: standard kit description (documento de descrição do sistema). Neuss, Alemanha
- PTG (2022b). 2-line CTIS for slurry tankers and trailers with electronic compressor controller: general assembly instructions for universal axles (manual de instalação geral). Neuss, Alemanha
- Reis, L., Silva, E., Barros, B., & Oliveira, F. (2022). Compactação do solo: Uma visão agronómica e ambiental, *Research, Society and Development*, 11(5), 1-9
- Revista pós-venda (2022). Michelin lança novo pneu para tratores com sistemas de teleinsuflação. Acedido em: abril de 2025. Disponível em: <https://posvenda.pt/michelin-renova-gama-de-pneus-para-tratores-com-sistemas-de-teleinsuflacao/>
- Revista Voz do campo (2024). Agritec Day Herculano (1ª edição). Acedido em: maio de 2025. Disponível em: <https://vozdocampo.pt/arquivo/32794>
- Rosa, C., Silva, F. J. G., Ferreira, L. P., Pereira, T., & Gouveia, R. (2018). Establishing standard methodologies to improve the production rate of assembly lines used for low added-value products, *Procedia Manufacturing*, 17, 555–562
- Rosen, L. (2018). Agriculture working with new technologies to increase food security in the 21st century. 21st Century Tech Blog. Acedido em: dezembro de 2024. Disponível em: <https://www.21stcentech.com/agriculture-new-technologiesfood-security-21st-century/>
- Samid, G. (1995). Too much project management: A vice in disguise (and how to minimize it), *Cost Engineering*, 37(10), 10-18
- Santos, J. (2005). A Sustentabilidade da agricultura, *Revista do Agricultor*, nº 189/II Junho de 2005
- Sarkar, C. (2016). Agricultural mechanization in west Bengal: A comparative study of Bardhaman and Dakshin Dinajpur districts. Tese de doutoramento, University of North Bengal, Bairatisal, Índia
- Scarlett Research Ltd (2020). Look behind you! A guide to tractor-trailer braking (guia de explicação). Reino Unido
- Schlegel, J. (2023). Manufacturing Processes. Em: Springer, *The World of Steel* (297-355). Wiesbaden, Alemanha

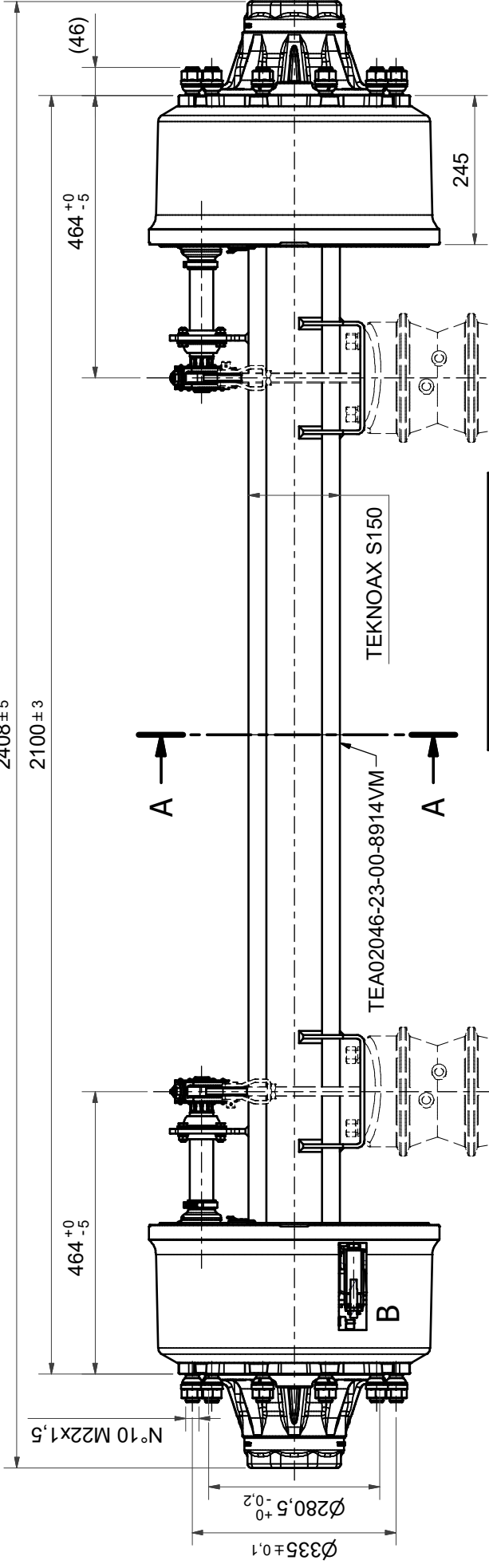
- Schleifer, P. & Sun, Y. (2020). Reviewing the impact of sustainability certification on food security in developing countries, *Global Food Security*, 24, 2-7
- Sharaf, A. M., & Nassar, M. (2021). Off-road vehicles' traction performance augmented by controlling tire inflation pressure. SAE Technical Paper
- Silva, A. C. (2020). Visão estratégica para o plano de recuperação económica de Portugal 2020-2030. XXII Governo da República Portuguesa: Lisboa, Portugal
- Sørensen, C. G., & Bochtis, D. D. (2009). Information Systems and Management for Future Farming. Artigo apresentado em Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural Systems, Argentina
- Spekken, M., De Bruin, S., Molin, J. P., & Sparovek, G. (2016). Planning machine paths and row crop patterns on steep surfaces to minimize soil erosion, *Computers and Electronics in Agriculture*, 124, 194-210
- SRUC (2025). Soil compaction. Acedido em: abril de 2025. Disponível em: <https://www.sruc.ac.uk/research/research-facilities/dairy-research-facility/dairy-projects/soil-compaction/>
- Stark, J. (2020). Product Lifecycle Management (PLM). Em: Springer, Product Lifecycle Management (1-33)
- Stewart, R., Bey, N., & Boks, C. (2016). Exploration of the barriers to implementing different types of sustainability approaches, *Procedia CIRP*, 48, 22-27
- Suciu, V., Balaceanu, C., Anwar, M., Pasat, A., Ijaz, H., Dobrea, M., & Beceanu, C. (2018). Analysis of agriculture sensors based on IoT. Artigo apresentado em International Conference on Communications (COMM), Bucareste, Roménia
- Tey, Y. S., Li, E., Bruwer, J., Abdullah, A. M., Brindal, M., Radam, A., & Darham, S. (2014). The relative importance of factors influencing the adoption of sustainable agricultural practices: A factor approach for Malaysian vegetable farmers, *Sustainability Science*, 9(1), 17- 29
- The Car Connection (2017). Rear-wheel steering could radically change pickup trucks and SUVs. Acedido em: março de 2025. Disponível em: https://www.thecarconnection.com/news/1111315_rear-wheel-steering-could-radically-change-pickup-trucks-and-suvs
- University of Florida (2021). Soil compaction, is it good or bad?. Acedido em: abril de 2025. Disponível em: <https://blogs.ifas.ufl.edu/miamidadeco/2021/04/09/soil-compaction-is-it-good-or-bad/>
- Valtra (2025). How to increase crop yields with a central tyre inflation system. Acedido em: abril de 2025. Disponível em: <https://www.valtra.pt/valtra-unlimited/farming.html>
- Voronenko, B. I. (1997). Austenitic-ferritic stainless steels: A state-of-the-art review, *Metal Science and Heat Treatment*, 39(10), 428-437

Referências

- Walker, D., Kurth, T., Van Wyck, J., & Tilney, M. (2016). Lessons from the frontlines of the Agtech revolution, Boston Consulting Group (BCG)
- Walsh, K., Brown A. G., Gourley B., & Scaife, R. (2019). Archaeology, hydrogeology and geomorphology in the symphyllosis valley, *Journal of Archaeological Science Reports*, 15, 446–458
- Wang, S. (2014). Cooperative extension system: Trends and economic impacts on U.S. agriculture, *Agricultural & Applied Economics Association*, 29(1), 1-9
- Warner, R. (1994). Central Tire Inflation Systems (CTIS) Technology, Development, and Application. SAE Technical Paper
- Yang, F., Li, G., Hua, J., Li, X., & Kagawa, T. (2017). A new method for analyzing the pressure response delay in a pneumatic brake system caused by the influence of transmission pipes, *Applied Sciences*, 7(9), 1-20
- Yisa, M. G., Terao, H. (1995). Dynamics of tractor-implement combinations on slopes (Part I), State-of-art review, *Journal of the Faculty of Agriculture Hokkaido University*, 66, 240-262
- Yisa, M. G., Terao, H., Noguchi, N., & Kubota, M. (1998). Stability criteria for tractor-implement operation on slopes, *Journal of Terramechanics*, 35(1), 1-19
- Zabrodskiy, A., Sarauski, E., Kukharets, S., Juostas, A., Vasiliauskas, G., & Andriusis, A. (2021). Analysis of the impact of soil compaction on the environment and agricultural economic losses in Lithuania and Ukraine, *Sustainability*, 13, 61-77

Anexo A

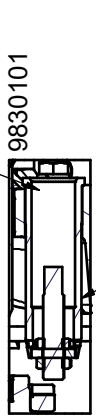
2408±5
2100±3



**PER APPROVAZIONE
FOR APPROVAL**

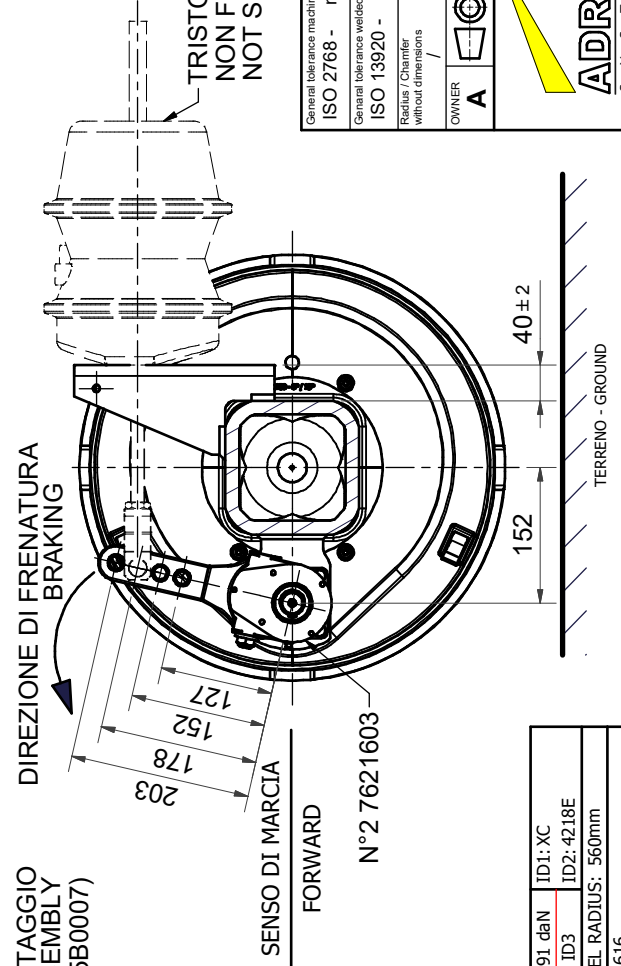
RIF.N°	TEA02046-23
DATA	29.11.23
FIRMA	MARGANI

B (1 : 3)
SOLO LATO SINISTRO
ONLY LEFT SIDE

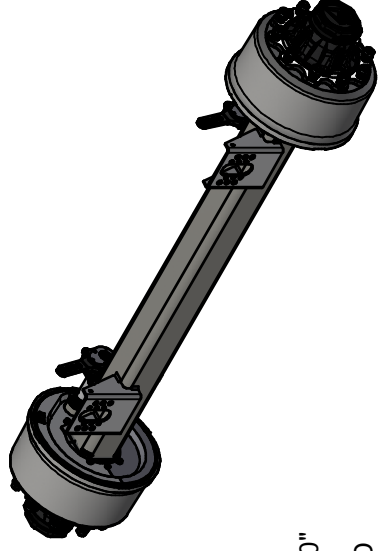


POSIZIONE DI MONTAGGIO
POSITION FOR ASSEMBLY
(SPEED SENSOR 95B0007)

A-A (1 : 6)



TRISTOP 30"/30"
NON FORNITO
NOT SUPPLIED



**ISTRUZIONE DI SALDATURA
WELDING INSTRUCTION
TEA02046-23-00-8914VM**

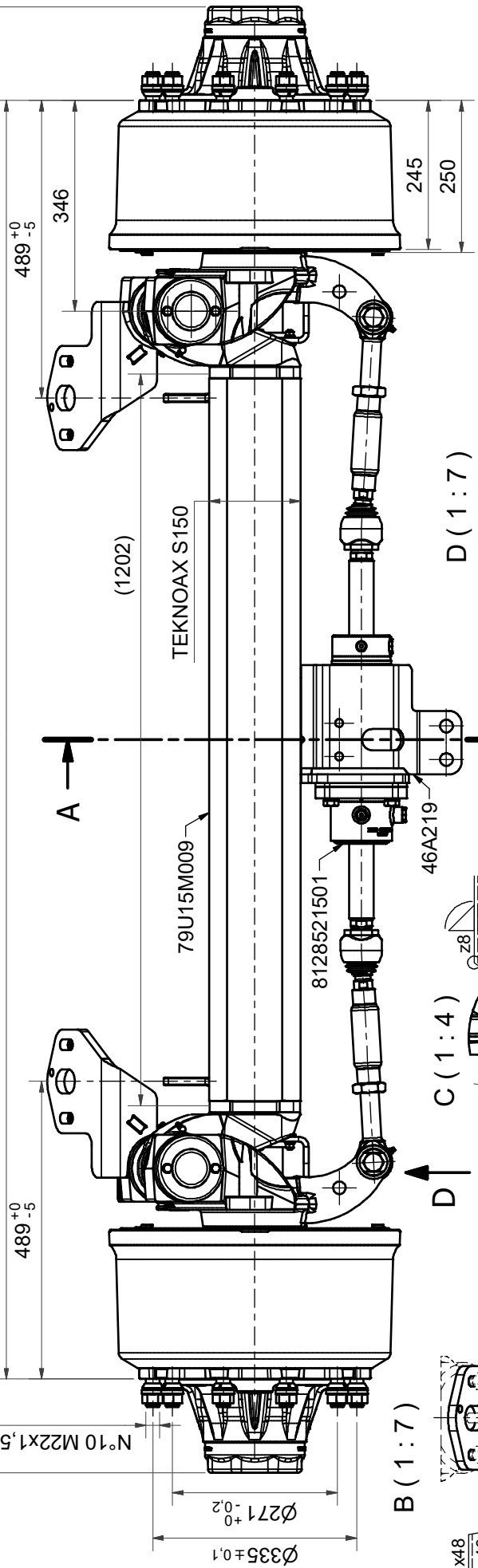
The carrying capacities show in the table below, are referred to standard application. Otherwise please refer to attached carrying capacity certificate for the other application

AXLE TYPE: 4V	BODY AXLES: TEKNOAX S150	
OVERHANG: ≤670mm	WHEEL: Rmax = 600mm ETO	
40 km/h	60 km/h	80 km/h
15700	14100	12900
15700	14100	12900
14500	13100	11900
PORTATA - CAPACITY kg.		
TEST WHEEL RADIUS: 560mm		
ID4: 36106616		

General tolerances matched details ISO 2768 - mH	COAT NERO RAL9005 PRIMER BLACK RAL9005 PRIMER	Ref. STD
General tolerances welded details ISO 13920 - BF	MATERIAL - HARDNESS MARGANI RUMMOLINO	Weight [kg] 379
Radius / Chamfer without dimensions	Drawn [Date] 28.11.23 Checked [Date] 28.11.23 Replace [Date]	Replaced By [Date]
OWNER A	Scale 1:7	
ASSE CON FRENO COMBINATO PERIFERIA 4V BRAKE 420X180 XC 4218E BRAKED AXLE HUB AND DRUM PERIFERIA 4V BRAKE 420X180 XC 4218E		
Drawing No. TEA02046-23-00-TA15L4V1XC		Sheet A3 AB
		Last Rev. 28.11.23
		Rev No. 0

Anexo B

2408 ± 5
2100 ± 3

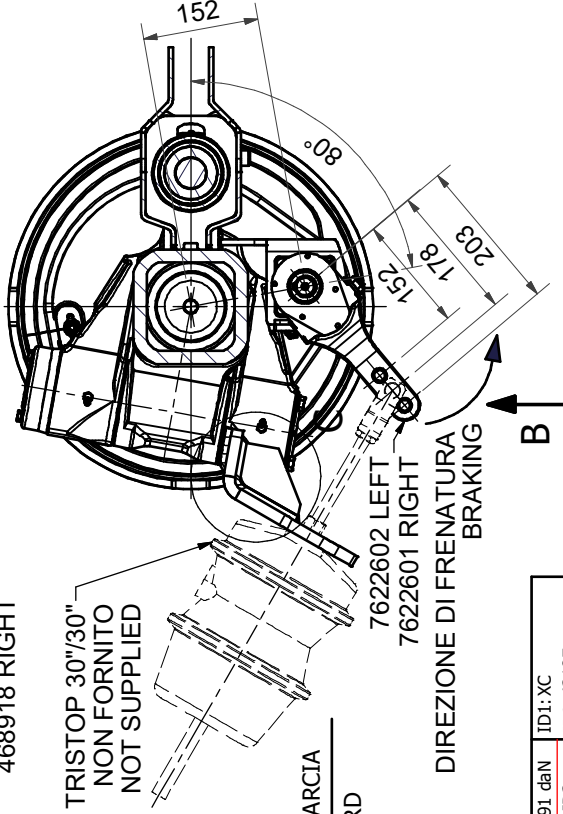


D (1:7)
RILEVAMENTO ANGOLO DI STERZO
STEERING ANGLE DETECTION
SOLO LATO SINISTRO
ONLY LEFT SIDE
80Z123
VEDERE ISTRUZIONE
CHECK INSTRUCTIONS
ZIP0096-GB

C (1:4)
468919 LEFT
468918 RIGHT
10 ± 2

A-A (1:7)

B (1:7)
74417716 LEFT
74417616 RIGHT
137 ± 2
z5 x48
z5 x40
z5 x21
z5 x21



PER APPROVAZIONE FOR APPROVAL	
RIF. N°	TEA02046-23
DATA	06.12.23
FIRMA	MARGANI

**STERZATA MASSIMA
MAXIMUM STEERING ANGLE 15°**

General tolerances matched details	ISO 2768 - mH	COAT	NERO RAL9005 PRIMER BLACK RAL9005 PRIMER	Ref.	
General tolerances welded details	ISO 13920 - BF	MATERIAL - HARDNESS		Weight [kg]	560
Radius / Chamfer without dimensions	Ra	Drawn [Date]	28.11.23	Checked [Date]	28.11.23
OWNER	A	MARGANI	RUMMOLINO	Replaced By [Date]	
Scale	1:7	ASSE STERZATA COMANDATA SWQ 10° PERIFERIA 4V FRENO 420X180 XC 4128E POWER STEERING AXLE SWQ 10° PERIFERIA 4V BRAKE 420X180 XC 4128E			
Drawing No. TEA02046-23-00-TCH15M4V1XC AB Sheet A3 Last Rev. 28.11.23 Rev No. 0					

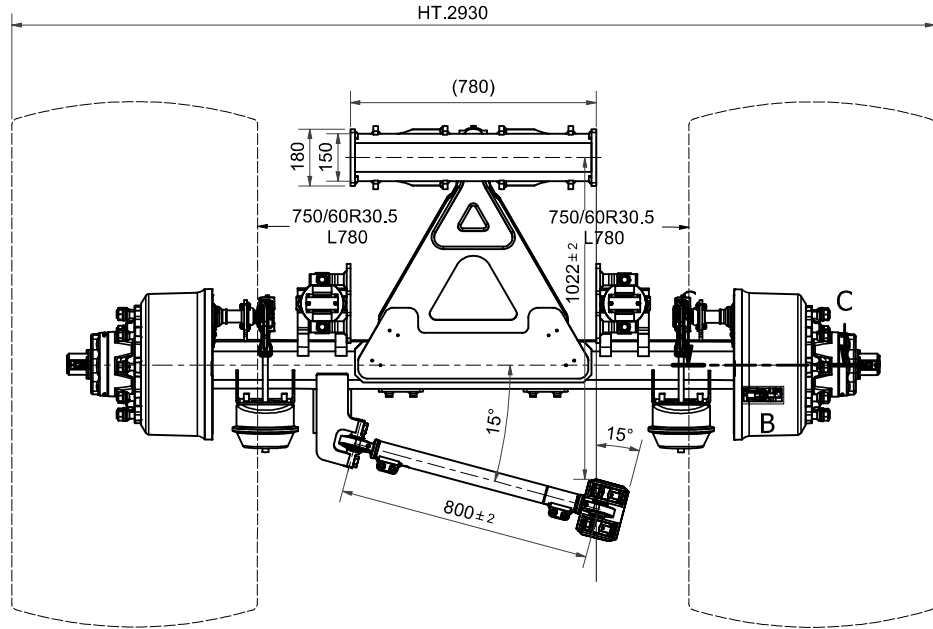
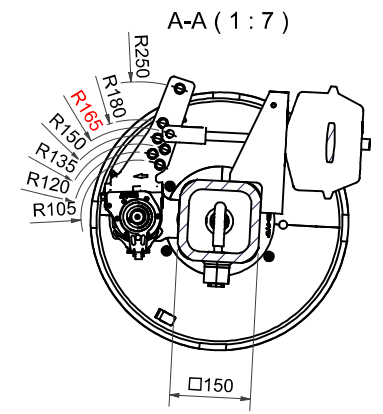
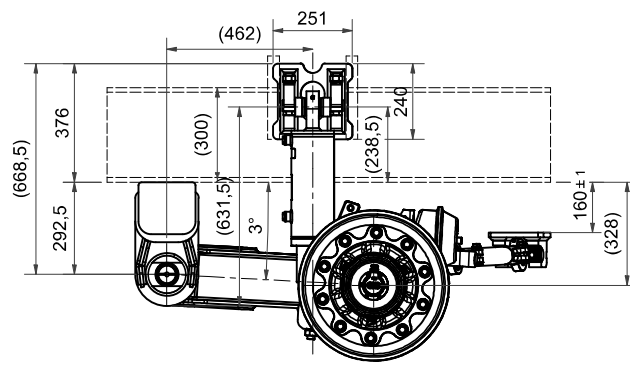
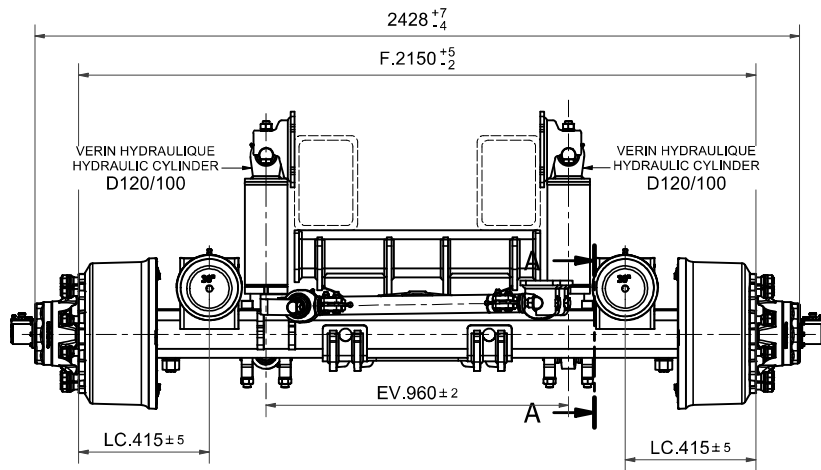
▲ The carrying capacities show in the table below, are referred to standard application. Otherwise please refer to attached carrying capacity certificate for the other application

AXLE TYPE: 4V	BODY AXLES: TEKNOAX S150	
OVERHANG: ≤ 670mm	WHEEL: Rmax = 600mm ETO	
40 km/h	60 km/h	80 km/h
> 40 km/h	10791 daN	ID1: XC
	ID3	ID2: 4218E
14500	13100	11900
TEST WHEEL RADIUS: 560mm		
PORTATA - CAPACITY kg.		
ID4: 36106616		

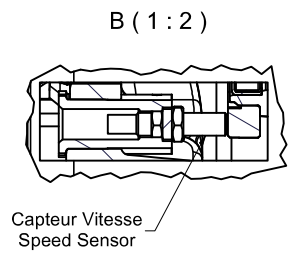
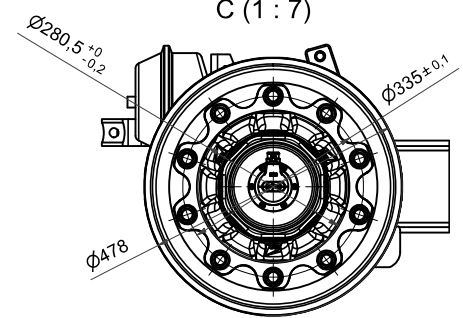
SENSO DI MARCIA
FORWARD

TERRENO - GROUND

Anexo C

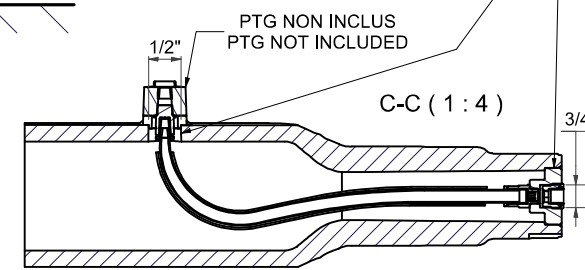


SENS DE MARCHÉ
 FORWARD



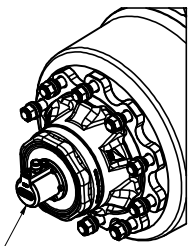
Perçage pour système de gonflage/dégonflage des pneus
 Drilling for tyre inflation/deflation system

SOL - GROUND

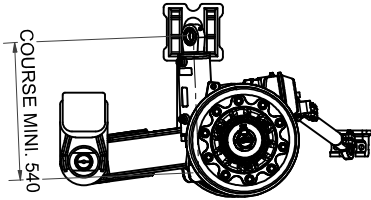


E (1:8)
 DISTANCE ENTRE LE CHASSIS ET LA BARRE STABILISATRICE AVEC LE DEBATTEMENT MINI
 DISTANCE BETWEEN CHASSIS AND STABILIZER BAR WITH MINIMUM SUSPENSION TRAVEL

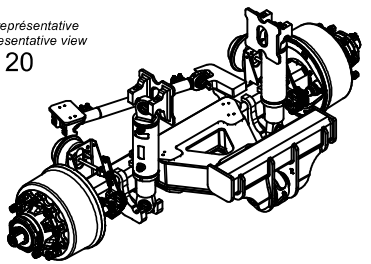
F (1:8)



D (1:16)
 LIMITER LA COURSE DE LA SUSPENSION AVEC UNE BUTEE (NON FOURNI)
 LIMIT THE SUSPENSION STROKE WITH A STOP (NOT INCLUDED)



Vue representative
 Representative view
 1:20



ETUDE FAITE AVEC VASE TYPE 30
 ET LE PNEUMATIQUE : 750/60R30.5 L780
 STUDY DONE WITH TYPE 30 FLASK
 AND PNEUMATIC : 750/60R30.5 L780

General tolerance machined details ISO 2768 - mH	COAT	Ref.
General tolerance welded details ISO 13920 - BF	MATERIAL - HARDNESS	Weight [kg]
Radius / Chamfer without dimensions	Checked [Date]	Replace [Date]
OWNER C	Scale 1:12	Replaced By [Date]
		Sheet A2 A/A
		Last Rev. 00

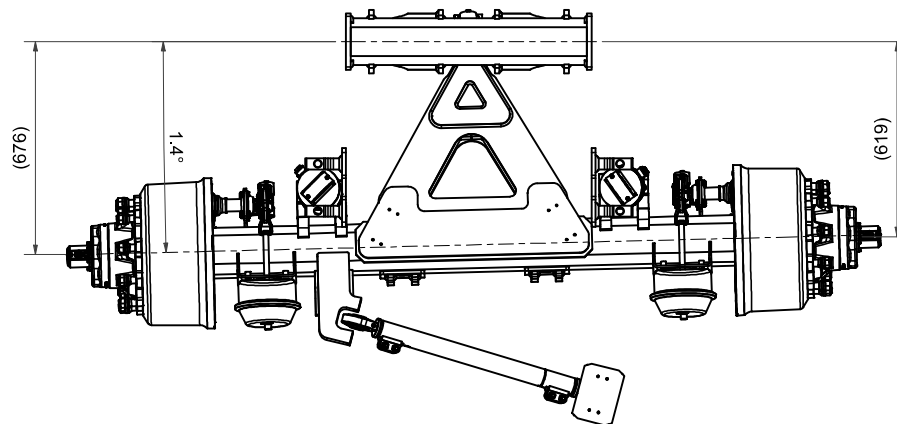
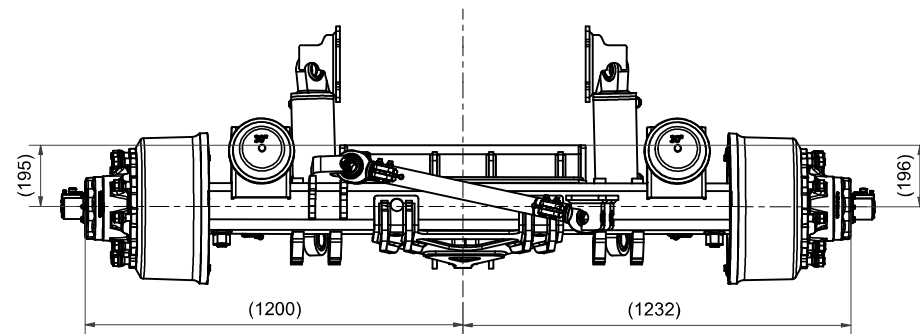
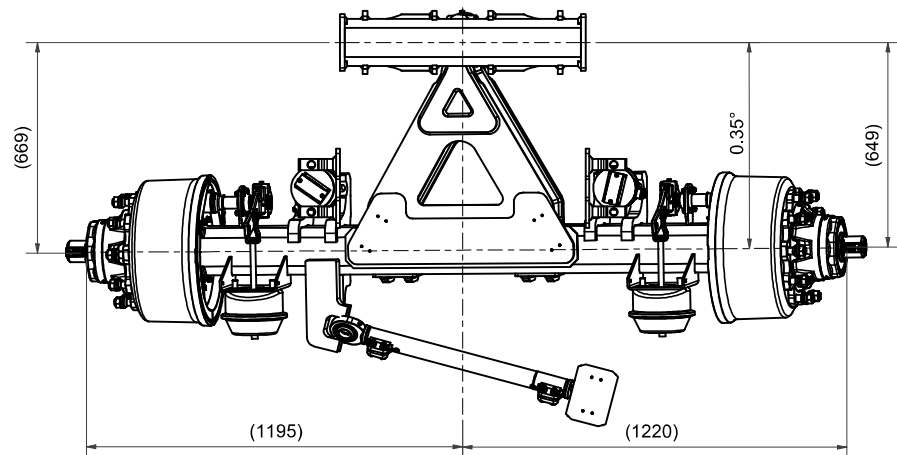
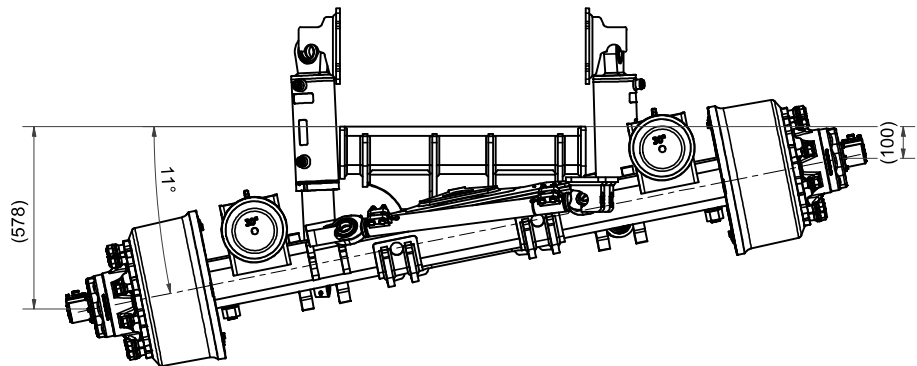
Confidential copyright reserved NO COPYING OR EXHIBITING.

COURSE VERIN/CYLINDER STROKE : 540 - 730 MM
 DROITE/RIGHT 540 - GAUCHE/LEFT 730
 1 : 12

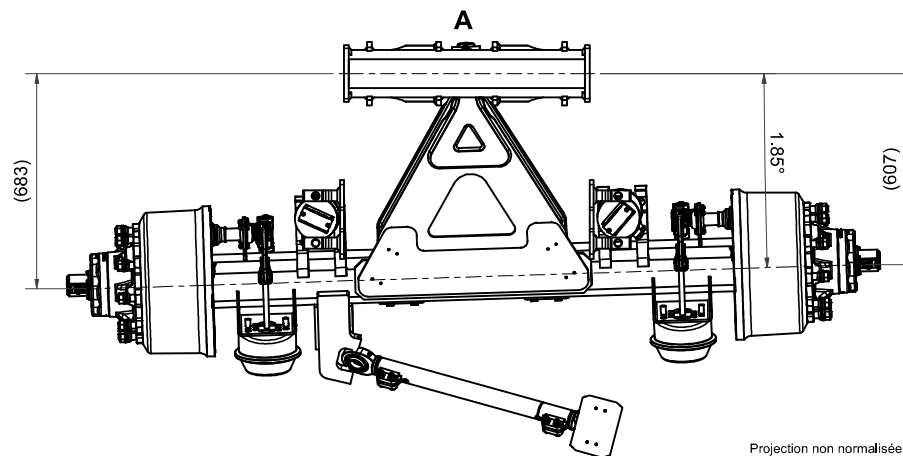
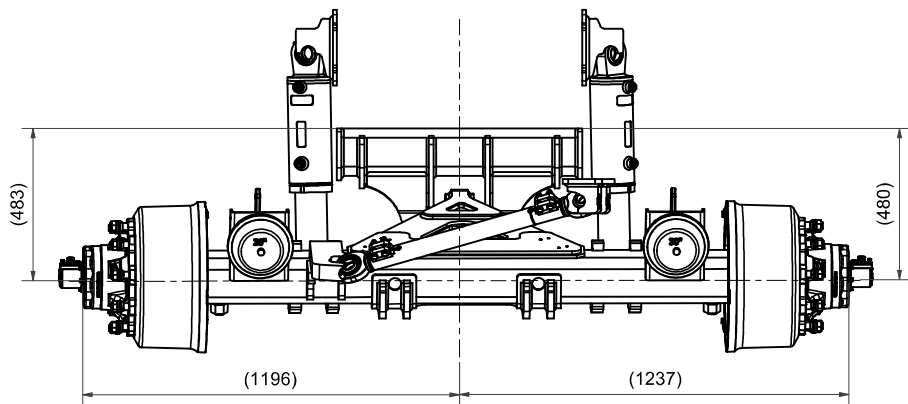
DEBATTEMENT
 DE LA
 SUSPENSION

SUSPENSION
 TRAVEL

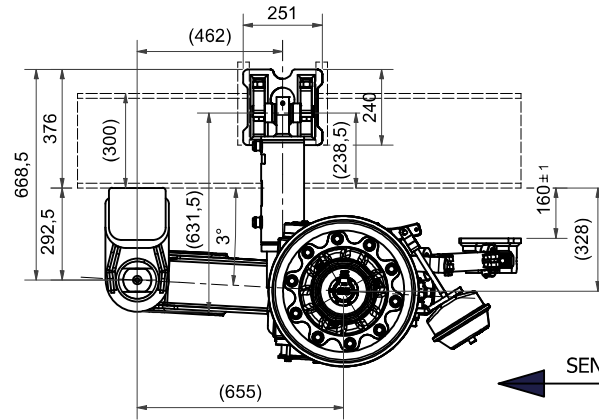
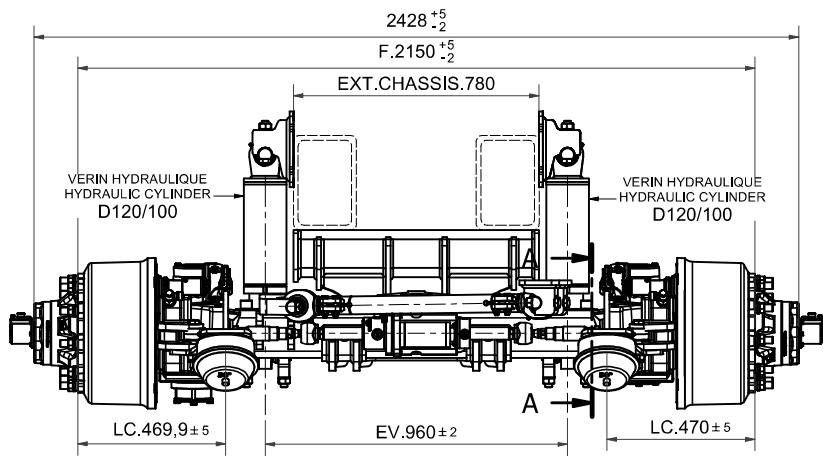
COURSE VERIN/CYLINDER STROKE : 540 MM
 1 : 12



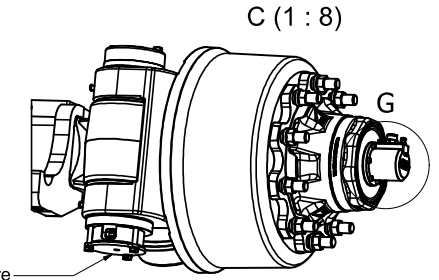
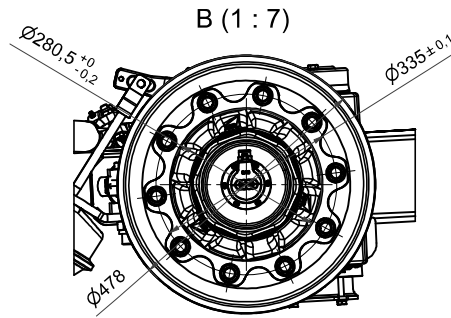
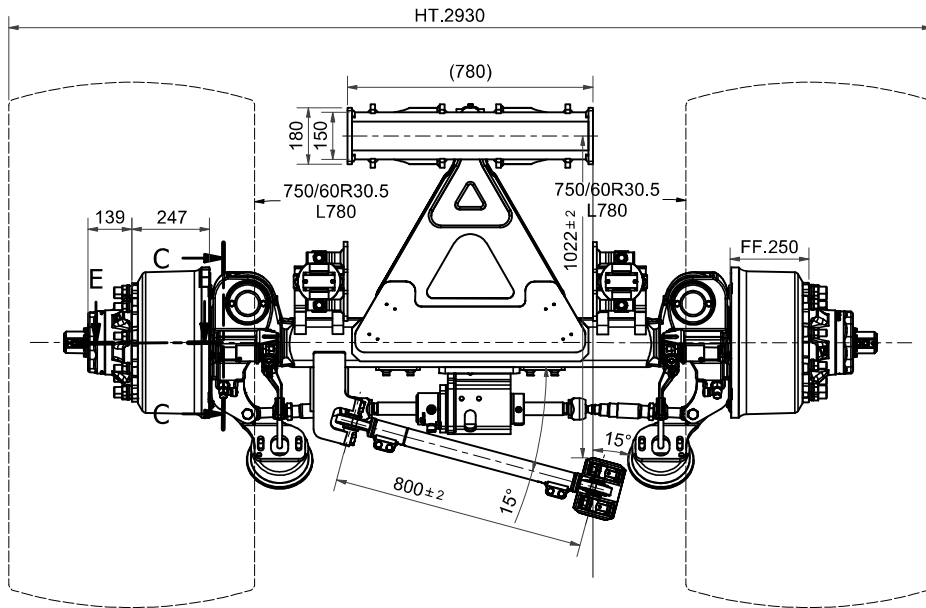
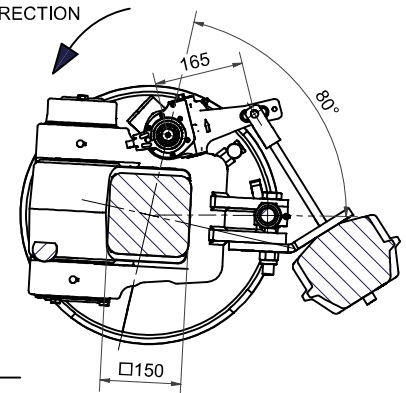
COURSE VERIN/CYLINDER STROKE : 730 MM
 1 : 12



Anexo D



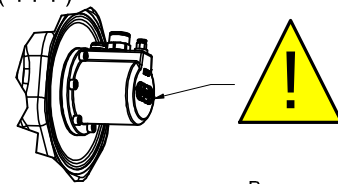
SENS DE FREINAGE
BRAKING DIRECTION



Capteur Angulaire
Angular Sensor

Perçage pour système de gonflage/dégonflage des pneus
Drilling for tyre inflation/deflation system

G (1 : 4)

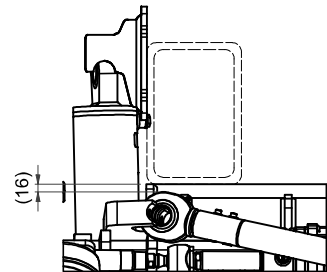


PTG NON INCLUS
PTG NOT INCLUDED

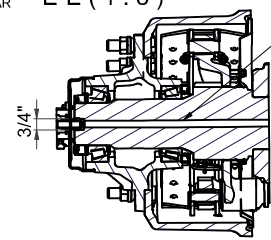
Perçage pour système de gonflage/dégonflage des pneus
Drilling for tyre inflation/deflation system

E (1 : 8)

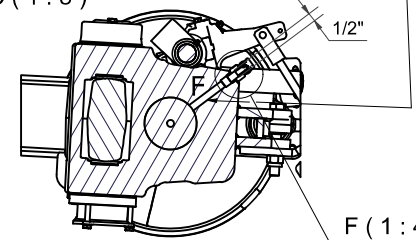
DISTANCE ENTRE LE CHASSIS ET LA BARRE STABILISATRICE AVEC LE DEBATTEMENT MINI
DISTANCE BETWEEN CHASSIS AND STABILIZER BAR WITH MINIMUM SUSPENSION TRAVEL



E-E (1 : 8)



C-C (1 : 8)

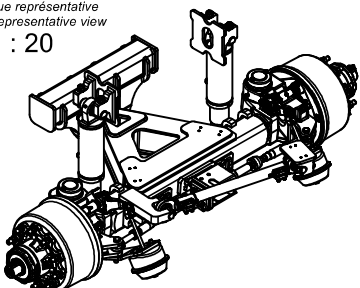


F (1 : 4)

ETUDE FAITE AVEC VASE TYPE 30 ET LE PNEUMATIQUE : 750/60R30.5 L780
LIMITER LE BRAQUAGE A 12°
STUDY DONE WITH TYPE 30 FLASK AND PNEUMATIC : 750/60R30.5 L780
LIMIT THE STEERING ANGLE TO 12°

PTG NON INCLUS
PTG NOT INCLUDED

Vue représentative
Representative view
1 : 20

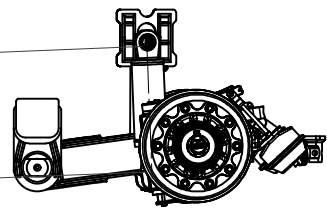


D (1 : 16)

LIMITER LA COURSE DE LA SUSPENSION AVEC UNE BUTEE (NON FOURNI)
LIMIT THE SUSPENSION STROKE WITH A STOP (NOT INCLUDED)

LIMIT THE SUSPENSION STROKE WITH A STOP (NOT INCLUDED)

COURSE: MINI 540



Projection non normalisée pour vue de coupe C
Projection not standardized for section view C

General tolerance machined details ISO 2768 - mH		COAT		Ref.	
General tolerance welded details ISO 13920 - BF		MATERIAL - HARDNESS		Weight [kg]	
Radius / Chamfer without dimensions	Scale	Checked [Date]	Replace [Date]	Replaced By [Date]	
OWNER C	Scale 1 : 12	[Redacted]		[Redacted]	
		[Redacted]		[Redacted]	
Sheet A2 A / A	Last Rev.	Rev No.		00	

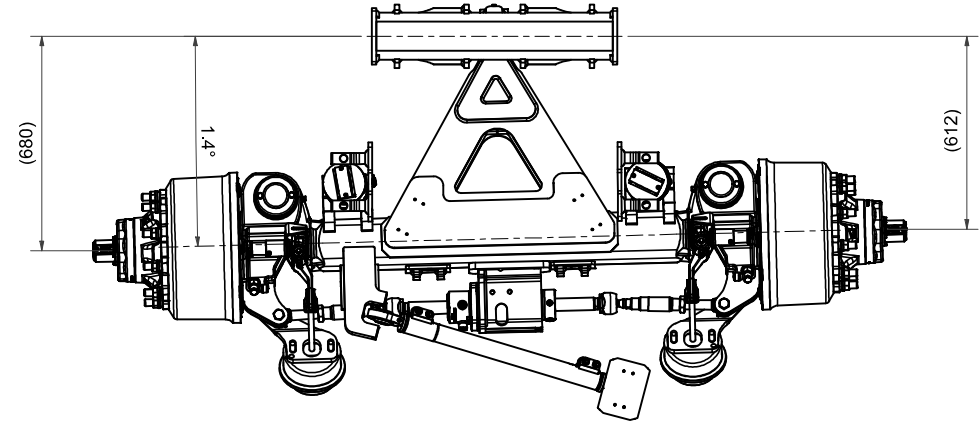
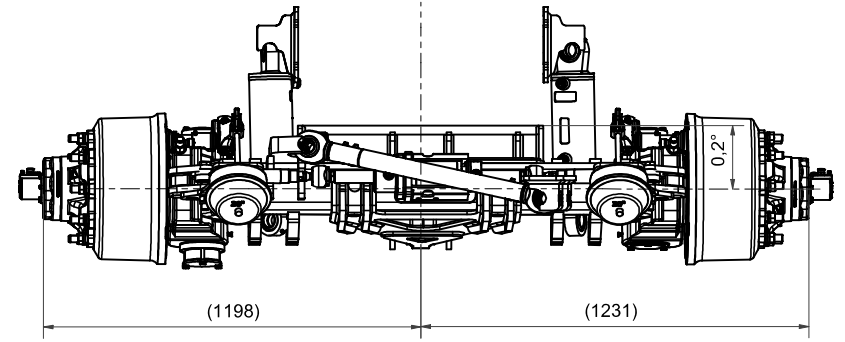
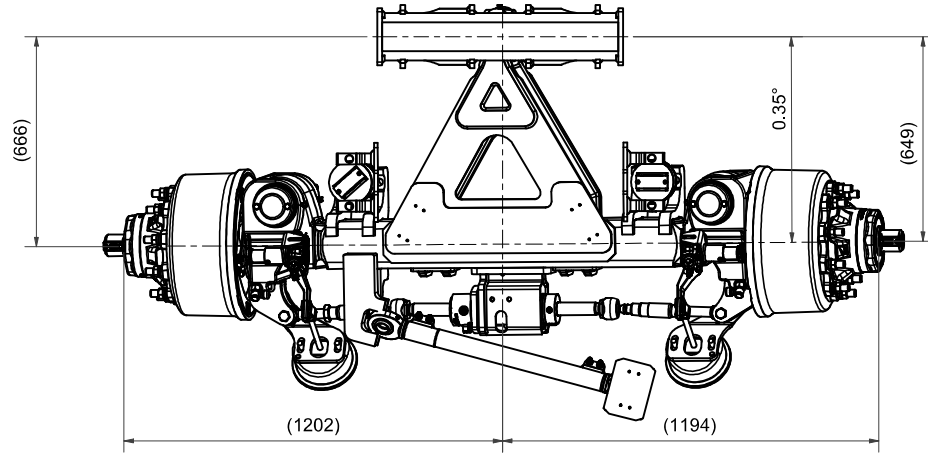
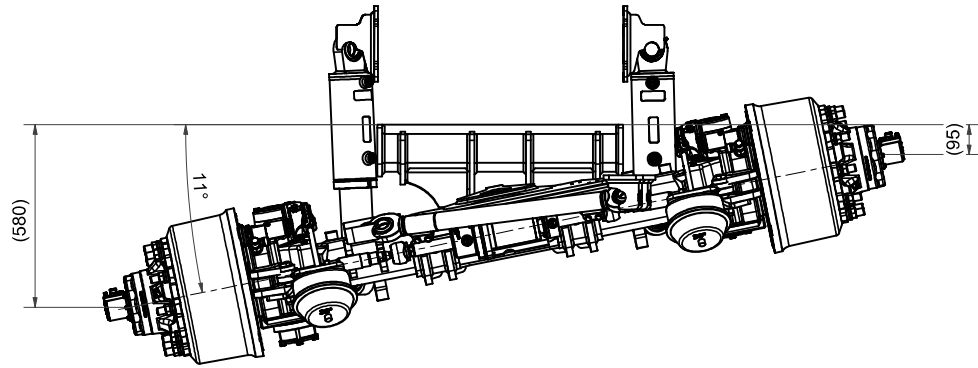
Confidential copyright: reserved NO COPYING OR EXHIBITING.

COURSE VERIN/CYLINDER STROKE : 540 - 730 MM
 DROITE/RIGHT 540 - GAUCHE/LEFT 730
 1 : 12

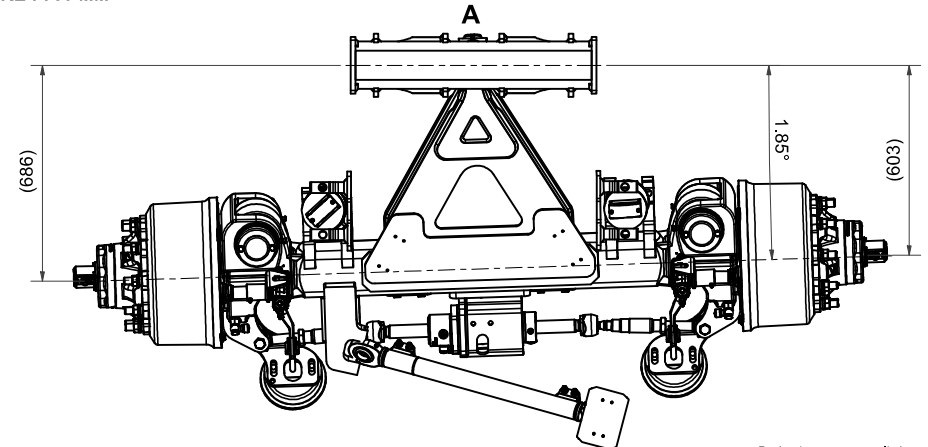
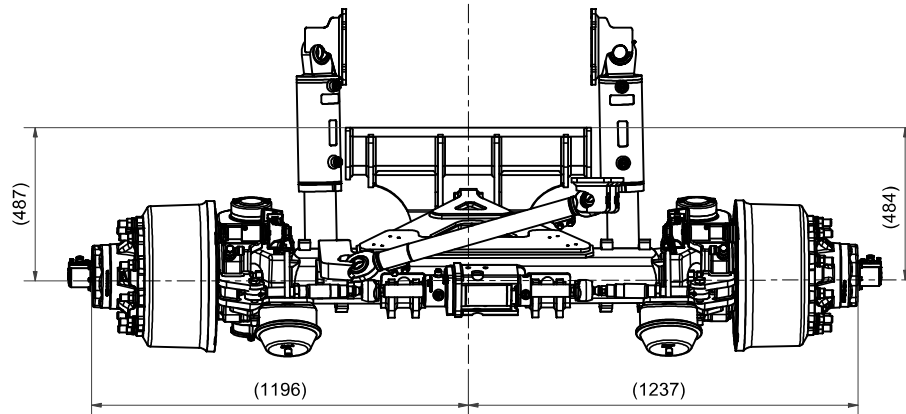
DEBATTEMENT
 DE LA
 SUSPENSION

SUSPENSION
 TRAVEL

COURSE VERIN/CYLINDER STROKE : 540 MM
 1 : 12



COURSE VERIN/CYLINDER STROKE : 730 MM
 1 : 12



Glossário

Adufa

Abertura mecânica no tanque da cisterna para escoamento do líquido.

Alfaia

Utensílio ou ferramenta utilizada na agricultura, normalmente acoplada a um trator agrícola.

Argolão

Anel metálico maciço onde é feita a ligação entre a cisterna ou reboque e o trator.

Cardã

Mecanismo ou junta universal que permite a transmissão de movimento entre dois eixos com ângulos diferentes.

Chorume

Líquido escuro com cheiro forte e desagradável resultante da decomposição de matéria orgânica. Na agricultura é utilizado como fertilizante e é normalmente constituído por uma mistura de água, urina e fezes animais.

ISOBUS (ISO 11783)

Protocolo de comunicação internacional que em máquinas agrícolas e florestais, como tratores e alfaias de diferentes fabricantes, permite interagir através de uma linguagem comum.

Lança

Estrutura de tração do reboque ao veículo motor. Está conectada ao chassi do reboque e é usualmente fabricada em metal.