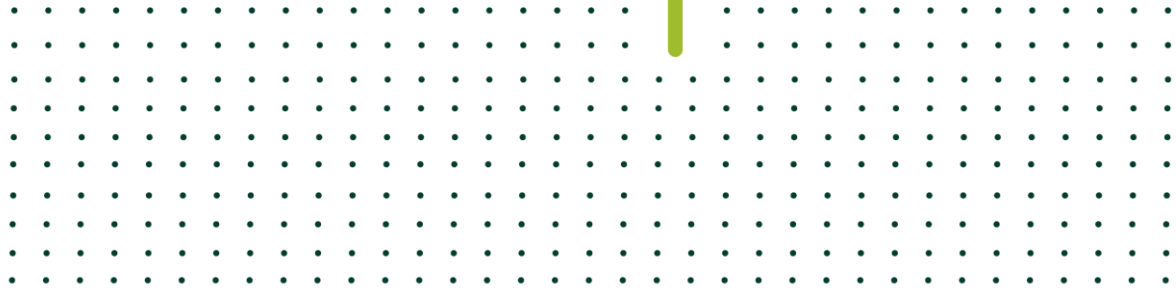


rePLANT



Implementação da Exploração Florestal 4.0 sustentável em Portugal

Relatório de requisitos funcionais, arquitetura de base,
e caracterização dos cenários de demonstração

PPS 3 | Atividade 3.1 | entregável E3.1.1.

versão 5.0 | 20 maio de 2022



grounding collaborative strategies for integrated mnngt of forests & fire



Cofinanciado por:



Índice

1. Introdução	3
1.1. Abordagem metodológica	3
2. Caracterização da situação atual (“as-is”)	4
2.1. Processos atuais relacionados com a exploração florestal	4
2.2. Equipamentos de exploração e transporte florestal	7
2.3. Sistemas de informação e outras tecnologias digitais	11
3. Situação futura (“to-be”): Exploração Florestal 4.0 sustentável	13
3.1. Estado da arte sobre maquinaria e tecnologias floresta 4.0	15
4. Arquitetura de Informação e interoperabilidade	22
4.1. Informação relevante para monitorização da exploração florestal	22
4.2. StanForD 2010: standard de informação das máquinas florestais	24
4.3. Papinet: standard de informação para transporte de madeira	27
5. Arquitetura de aplicações e análise de requisitos	28
5.1. Requisitos dos sistemas de análise de produtividade - máquinas de corte recheça (SCC, SCR)29	
5.2. Requisitos do sistema de análise da volumetria das pilhas	30
5.3. Requisitos do sistema de monitorização e apoio ao planeamento da exploração florestal	31
5.4. Requisitos da plataforma de interoperabilidade IoT REPLANT	33
6. Cenários de demonstração	34
7. Referências bibliográficas	35
Anexo 1. Terminologia adotada no StanForD 2010	36

Autoria e aprovação

Autores:

The Navigator Company (responsável): José Luis Carvalho, Maria Teresa Silva,
ForestWISE: Alexandra Marques
INESC TEC: Carolina Catorze, Ricardo Soares, Reinaldo Gomes
TRIGGER: Francisco Manso

Contribuíram para o documento:

Altri: Luis Leal
REN: Pedro Marques
Florecha: Carlos Amaral Netto

Revisores internos do documento: Sonae Arauco, Nuno Calado; ForestWISE, Jorge Cunha

Histórico do documento

v1.0 - 13/10/2020 - primeira versão do documento
v2.0 - 15/12/2020 - primeira versão estável das secções 1 a 4
v3.0 - 15/01/2020 – primeira versão enviada para participantes no PPS3
v4.0 - 04/05/2020 – versão com contributos de todos os participantes no PPS3
v5.0 – 20/05/2022 – versão após revisão externa, encerramento do documento

Sumário

Este documento é o primeiro resultado da atividade 3.1. - Exploração e logística florestal sustentável para uma futura economia circular. Neste documento são balizados com precisão os requisitos funcionais para o desenvolvimento de soluções integradas para melhorar a sustentabilidade das operações relacionadas com a exploração florestal. Estas soluções são compostas por sensores acoplados aos equipamentos de corte para análise de produtividade de equipamentos, bem como aplicações de geolocalização e estimativa de volume de pilhas de madeira e biomassa, as quais são combinadas com sistemas avançados de planeamento.

Este relatório complementa outro relatório elaborado na atividade 3.2. sobre operações silvícolas de instalação e manutenção de povoamentos florestais.

Neste documento são também descritos os cenários de demonstração das tecnologias desenvolvidas na atividade 3.1, incluindo a definição das zonas florestais piloto para a realização dos ensaios de pré-demonstração e a calendarização/coordenação das intervenções nestas zonas por forma a permitir as condições de operações desejadas para os testes e demonstrações das soluções a desenvolver.

1. Introdução

A exploração florestal diz respeito a todas as operações relacionadas com o abate de árvores, extração e processamento do material lenhoso, e.g. rolaria, biomassa florestal e outros produtos florestais nas áreas florestais e também o seu armazenamento e transporte até aos centros de transformação. Estas operações condicionam diretamente a rentabilidade da atividade florestal e por isso são muito importantes na vitalidade económica das florestas, desenvolvimento dos territórios e na eficiência ambiental das operações. O planeamento da exploração florestal e das cadeias de abastecimento desde a floresta até à transformação é uma área de investigação multidisciplinar, no contexto da qual se têm desenvolvido metodologias e ferramentas avançadas para calendarizar as operações de forma mais eficiente e também para apoiar opções de investimento em sistemas de corte e transporte.

Na era digital em que nos encontramos, a automação dos equipamentos e a utilização de sensores ou outras tecnologias digitais são aspetos chave para conseguir maiores ganhos de eficiência e sustentabilidade nos processos. O novo paradigma da Floresta 4.0, à semelhança da Indústria 4.0, assenta no desenvolvimento de soluções integradas, compostas por sensores acoplados aos equipamentos de corte e por sistemas avançados de planeamento. Estas soluções de “exploração florestal 4.0” dão visibilidade sobre o está a acontecer no teatro de operações aos seus vários intervenientes, permitem monitorizar indicadores importantes de performance e sustentabilidade que são úteis para apoiar o planeamento e a tomada de decisão em tempo real em toda a cadeia. Neste novo contexto os operadores florestais serão altamente qualificados e desempenham a sua atividade com maior segurança e qualidade.

Este relatório apresenta as especificações técnicas **para um protótipo de solução integrada para a exploração florestal 4.0 em Portugal**. Esta solução deverá recolher informação sobre as operações de abate, extração e processamento de rolaria a partir de vários tipos de sensores embebidos nos equipamentos florestais. Por exemplo, deverá permitir a localização e quantificação de volume de madeira e biomassa florestal e também análise de rendimento e da rastreabilidade dos fluxos ao longo da cadeia de abastecimento. Por fim, a solução irá incluir um sistema avançado de planeamento que permite analisar/monitorizar toda a informação recolhida numa lógica de múltiplos-utilizadores. Serão calculados indicadores de produtividade e de sustentabilidade ecológica das operações. Esta informação poderá ser usada para rever os planos de exploração, nomeadamente as previsões de fluxos de madeira ao longo da cadeia e a afetação dos equipamentos às operações, minimizando os custos logísticos, permitindo ainda a melhoria da eficiência dos operadores de máquinas.

1.1. Abordagem metodológica

A especificação de requisitos da solução integrada para exploração florestal baseou-se na metodologia de Zachman 1997 amplamente usada para desenho de sistemas de informação, incluindo no setor florestal (e.g. Marques et al. 2011). Esta metodologia assenta na descrição dos processos de negócio atuais e futuros, seguido da análise das fontes de informação e depois sobre a arquitetura aplicacional e tecnológica da solução a desenvolver. A descrição dos processos de negócio atuais relacionados com a exploração florestal foi feita pelos especialistas das empresas florestais e ForestWISE de forma a retratar a situação em Portugal. A situação futura deriva de melhorias processuais e na incorporação de conceitos e tecnologias da floresta 4.0 encontrados na revisão do estado da arte. A identificação da informação necessária e a arquitetura da solução integrada foi realizada pelos especialistas em Tecnologias de Informação, num esforço de trabalho conjunto com as empresas florestais. Novas parcerias e novos modelos de negócio poderão emergir para a comercialização destas novas soluções integradas em Portugal. Por isso, o envolvimento dos agentes do sector (ex: distribuidores de equipamento florestal) foi fundamental para garantir a adequabilidade das soluções e potenciar a transferência de conhecimento.

2. Caracterização da situação atual (“as-is”)

2.1. Processos atuais relacionados com a exploração florestal

Os processos de exploração florestal em Portugal variam de acordo com a dimensão das empresas, dimensão da área florestal que têm sob sua gestão e com a estrutura fundiária, condições geográficas (declive) e o contexto socio-económico da região onde atuam. Neste estudo consideram-se um conjunto de processos genéricos considerados adequados para a análise subsequente de aplicação dos conceitos e tecnologias da floresta 4.0., tomando como exemplo uma indústria integrada de produção de pasta e papel, responsável pela gestão de matas próprias e arrendadas, que se envolve por isso também os proprietários florestais e ainda prestadores de serviços de exploração e transporte.

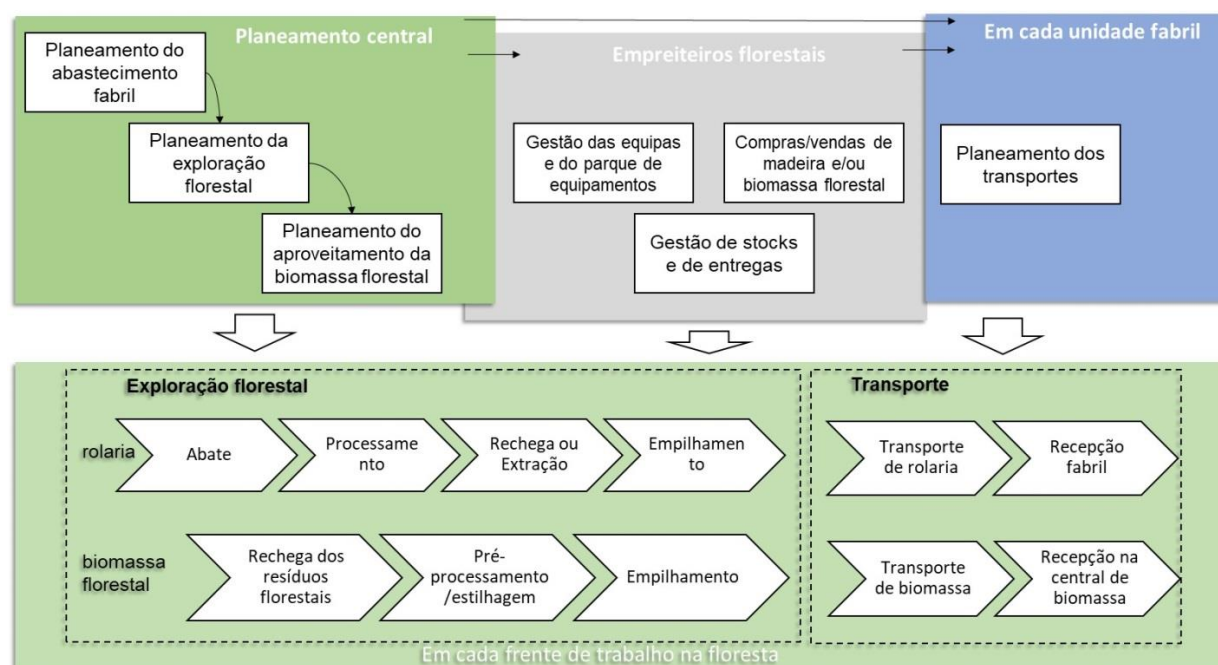


Figura 1 - Representação gráfica dos principais processos relacionados com a exploração florestal: situação atual (numa empresa de pasta e papel)

Planeamento central

- **Planeamento do abastecimento fabril:** consiste em determinar as necessidades de madeira para abastecimento das unidades fabris ao longo dos próximos meses/ano. Determina-se o volume a corte em matas próprias ou sob sua gestão (autoabastecimento) e as compras de madeira no mercado;
- **Planeamento da exploração florestal:** consiste na identificação das áreas a corte ao longo dos próximos meses/ano, e estimativa dos fluxos de madeira que serão produzidos e transportados para as unidades fabris de forma a satisfazer as necessidades de abastecimento. Cada área a corte (ou frente de trabalho) vai ser sujeita a um planeamento detalhado e serão calendarizadas todas intervenções de exploração florestal a realizar. Inclui a contratualização de empreiteiros florestais que irão prestar serviços florestais e/ou fornecer madeira/biomassa;

- **Planeamento do aproveitamento da biomassa florestal residual:** consiste na quantificação dos resíduos florestais que estarão disponíveis nas áreas a corte e identificação do processo de recolha, forma de aproveitamento e destino;

O planeamento da exploração florestal de rolaria de madeira e biomassa deve ser articulado para que o conjunto das operações seja feito da melhor forma. No caso de aproveitamento dos cepos para produção de biomassa esta operação deve planear-se em conjunto com a exploração e preparação de terreno subsequente.

Planeamento dos transportes (para cada unidade fabril)

- **Planeamento dos transportes:** consiste em determinar a capacidade de transporte necessária e contratação dos serviços de transporte necessários.

Organização do trabalho nos empreiteiros florestais

- **Compras/vendas de madeira e biomassa florestal:** consiste em estabelecer os contratos de compra de abastecimento de madeira e/ou biomassa florestal, prestação de serviços de exploração florestal, transporte e ainda os contratos de compra de madeira.
- **Gestão das equipas e do parque de equipamentos:** consiste na afetação das equipas e máquinas a frentes de trabalho de acordo com a disponibilidade e características técnicas.
- **Gestão de stocks e entregas:** consiste em afetar e otimizar a entrega de matéria-prima no destino, gerindo as necessidades e as entregas de modo a satisfazer a procura e mantendo os níveis de stock definidos para biomassa e madeira; usualmente o inventário físico de matéria-prima em parque é realizado trimestralmente, sendo que a gestão de stocks obedece em geral a uma lógica FIFO (first in, first out). Na mata, atualmente são obtidas as estimativas do volume e número de toros em pilha através de cubicagem, ou seja, a medição métrica com marcação de pilhas feita de forma regular.

Exploração florestal (em cada frente de trabalho na floresta): na floresta plantada para fins industriais, o sistema de exploração florestal predominante é o CTL *cut-to-length* (sistema de corte à medida), embora também se encontre o sistema FT *Full-tree* (sistema de corte das árvores inteiras)¹ (ver figura 2). De um modo geral, as principais operações são:

- **Abate:** consiste no corte da árvore junto ao solo.
- **Processamento:** no CTL, o processamento da árvore ocorre no próprio local de corte e derrube. Consiste na desramação do tronco para remoção dos ramos e da bicada (parte superior da árvore, geralmente com diâmetros inferiores a 7cm), descasque (quando houver a necessidade) e ainda a toragem, ou seja, seccionar a árvore em toros com comprimento pré-determinado (pode variar de 1 a 7 metros). O comprimento em que a madeira é cortada depende da especificação de cada destino industrial, da capacidade e dimensão das máquinas de recheia e dos camiões.
- **Recheia ou Extração:** consiste na movimentação dos toros ou troncos inteiros abatidos de modo a concentrar o material lenhoso junto dos trilhos de extração, seguido da sua movimentação para a zona de carregadouro, normalmente na proximidade da rede viária.

¹ Ponsse. CTL: O corte perfeito (2020). <https://pim.ponsse.com/media/ponsse-pim-api/api/content/getfile/16439233.pdf>

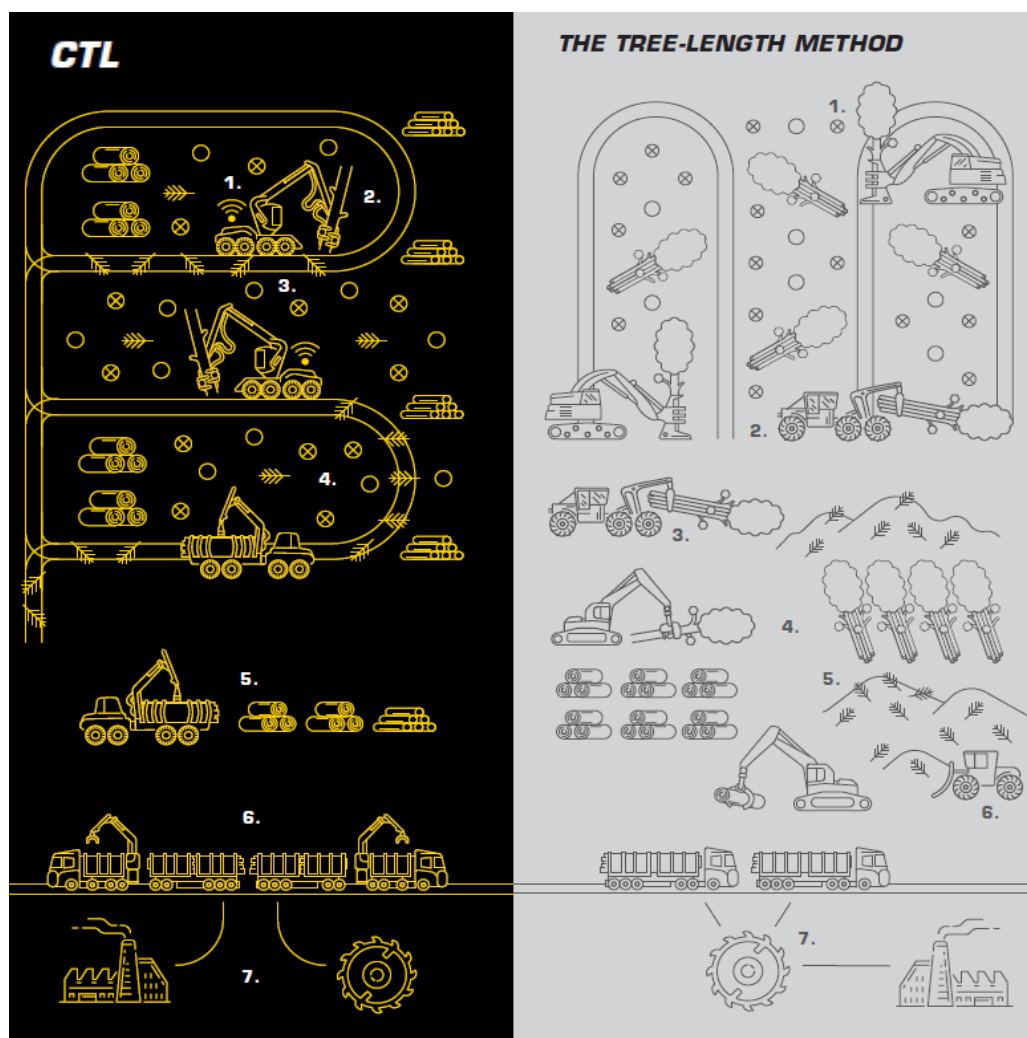


Figura 2 - Sistemas de exploração CTL vs. FT (adaptado de Ponsse, 2020)

Abate Processamento (no caso do CTL)	1. Pelo fato de se comunicar com o cliente, o harvester CTL estima a quantidade e a qualidade dos troncos para as necessidades do cliente.	1. O feller buncher abate cada árvore inteira com uma serra circular que, pode causar rachaduras no tronco.
Rechega	2. O harvester calcula a melhor maneira de cortar cada tronco em toros, maximizando o aproveitamento da matéria-prima. 3. Ao mover-se na floresta, o harvester cobre o seu trajeto com ramos e bicadas. Assim, diminui a pressão de superfície e reduz o dano ao solo. 4. O método CTL deixa as folhas, ramos e bicadas, ricos em nutrientes, na floresta, para a próxima geração de árvores. Parte deste resíduo também pode ser usado para bioenergia.	2. O skidder puxa as árvores abatidas até a área de carregamento ao lado da estrada, arrastando-as pelo solo da floresta. Isso danifica o solo e reduz a qualidade da matéria-prima. 3. O movimento de ir e vir do skidder compacta o solo e aumenta o risco de erosão 4. O Full Tree requer uma grande área de processamento e carregamento ao lado da estrada, onde o processador desgalha e corta os troncos.
Empilhamento	5. O forwarder transporta cada classe de madeira para sua pilha correspondente na beira da estrada. O grupo de 2 máquinas CTL é eficiente em termos de combustível e fácil de gerir.	5. Os galhos e copas na área de carregamento são um grande risco de incêndio florestal.
Transporte Processamento (no caso do FT)	6. Cada classe de madeira é transportada diretamente para o seu destino: serrações, fábricas de laminados ou de pasta e papel. 7. No método CTL, os toros destinados às serrações, por exemplo, podem ser classificados em lotes de entregas, p.e. de acordo com diâmetro e classe, o que permite o processamento mais rapidamente.	6. Após os troncos serem processados, a área de carregamento precisa ser limpa, para reduzir o risco de incêndio. 7. No Full Tree, os troncos são geralmente transportados para uma serração, onde são descarregados e cortados. Os resíduos terão que ser novamente transportados para outro destino.

- **Empilhamento:** consiste no empilhamento dos toros rechegados numa pilha em carregadouro na floresta, onde poderão ficar temporariamente armazenados até serem transportados para um centro de transformação.
- **Recheга da biomassa florestal residual²:** consiste na recolha seletiva dos resíduos florestais produzidos no processamento da madeira e sua movimentação para a zona de carregadouro.
- **Processamento ou pré-tratamento:** habitualmente, consiste na conversão dos resíduos florestais em estilha. Pode ocorrer no carregadouro, na floresta, num parque intermédio ou na central de processamento. Quando realizada na floresta, potencia a secagem do material de forma natural e a otimização do seu transporte.

Transporte

- **Transporte da madeira:** consiste no carregamento da madeira da pilha para os camiões e o seu subsequente transporte para a unidade fabril.
- **Transporte da biomassa florestal residual ou da estilha** a partir das áreas florestais, é feito em camiões com características diferentes dos utilizados para o transporte de madeira, possuindo geralmente de caixa fechada e estrado (piso) móvel.
- **Receção fabril:** consiste na pesagem dos camiões à porta da fábrica, eventual recolha de outros parâmetros (ex: densidade aparente, teor de humidade, qualidade) e a sua movimentação para parques de matéria-prima no interior das unidades fabris/centrais de biomassa.

2.2. Equipamentos de exploração e transporte florestal

As operações de exploração florestal podem ser realizadas de diversas formas e por diversos equipamentos possibilitando assim uma grande variedade de sistemas de exploração florestal. Tal como na seção anterior, faz-se uma descrição genérica dos equipamentos, que é considerada adequada para a análise subsequente de aplicação dos conceitos e tecnologias da floresta 4.0.

Abate

Motosserra



(Sistema de corte manual)

Equipamento moto-manual usado no abate, toragem e/ou desramação. Atualmente tem vindo a ser substituído pelos harvesters e/ou feller-bunchers.

Feller-buncher



(Sistema de exploração de árvore inteira)

O Feller (cabeça tesoura (guilhotina) ou de disco) pode ser dedicado (exclusivamente feller) ou o mais comum é ser uma cabeça instalada numa giratória. Permite o abate de uma ou várias árvores com acumulação de troncos e deposição no solo para posterior processamento.

² De acordo com D.L. 64/2017, é a fração biodegradável dos produtos e desperdícios resultantes da instalação, gestão e exploração florestal (cepos, toijas, raízes, folhas, ramos e bicadas), do material lenhoso resultante de cortes fitossanitários, de medidas de defesa da floresta contra os incêndios, e do controlo de áreas com invasoras lenhosas. Neste estudo, inclui-se ainda as cascas das árvores.

Processamento

Harvester ou equip. de corte dedicado



(sistema de exploração cut-to-length)

O *Harvester* é um equipamento dedicado à exploração florestal, composto, por uma máquina base automotriz, uma lança ou braço mecânico/hidráulico e uma cabeça processadora na sua extremidade. Esta máquina pode executar, sequencialmente, as operações de abate e processamento, nomeadamente, o corte da árvore, derrube, desramação, descasque, toragem e formação de pilhas de toros. Estas máquinas podem ser adaptadas sobre pneus ou rastos, a escolha de um rodado implica no local onde o *Harvester* irá operar.

Giratória com cabeça de corte/ processadora



A giratória é uma máquina escavadora de rastos usada frequentemente na construção civil que é adaptada para exploração florestal. É mais flexível pois permite a execução de diferentes operações e o acoplamento de diferentes alfaias, nomeadamente cabeças de corte (feller disco/guilhotina), cabeças de corte e processamento da madeira, e outras.

A cabeça de corte é a principal ferramenta da máquina para executar os trabalhos. As cabeças são escolhidas de acordo com as especificações técnicas da máquina e pelas condições da floresta, como por exemplo, pelo diâmetro máximo de corte, diâmetro máximo de desramação, peso e qual tipo de árvore a trabalhar.

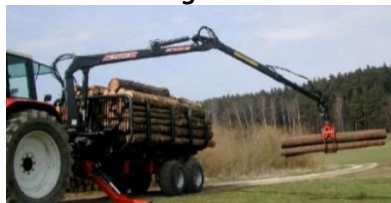
Rechega

Forwarder - autocarregador



O *Forwarder* é um equipamento dedicado para rechega da madeira (ou a biomassa) desde o local de abate até às pilhas (ou carregadouros). Estes equipamentos têm grua para efetuar a carga da madeira abatida e a descarga da madeira em pilhas junto a caminhos ou estradas. Podem também efetuar a carga de madeira para os camiões de transporte.

Tractores agro-florestais com reboque e grua



Tractor agro-florestal com grua, adaptado para recolha de madeira na mata. Mais utilizado em matas de pequena dimensão com condicionantes ao nível do declive e capacidade de carga.

O *skidder* é um equipamento de rechega semelhante, com um braço para transporte de troncos de maiores dimensões.

Pré-processamento/estilhagem

Destroçador



O destroçador é um equipamento para destroçar a madeira em estilha, geralmente com dimensões inferiores a 5 cm. Existe uma grande variedade de destroçadores, variando na forma de destroçamento (com recurso a facas ou martelos), dimensão da biomassa na entrada, potência e capacidade de processamento. Podem ser móveis ou fixos. Os primeiros, geralmente nos locais onde a biomassa florestal residual se encontra após o abate do material lenhoso; e os segundos, utilizados em carregadouro ou nas unidades de consumo.

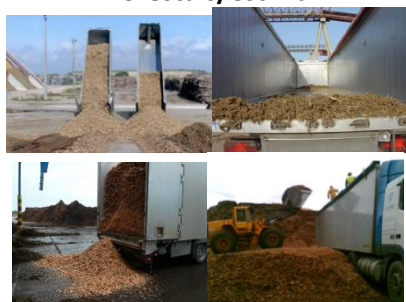
Transporte

Camião de transporte de madeira



Camiões sujeitos a regulamentação de transporte específico, com capacidade de carga bruta máxima de 40 ton (carga líquida máxima são 25 ton). Usualmente transportam 4 a 5 estivas de rolaria dependente do comprimento dos toros de madeira. Existem carros equipados com grua que permitem o auto-carregamento da madeira.

Camião de transporte de resíduos florestais/estilha



Camiões sujeitos a regulamentação de transporte específico, com capacidade de carga bruta máxima de 40 ton. Caracterizados para transporte de bens a granel, com capacidade até 90m³; podem ser basculantes ou de piso móvel, permitindo a descarga autónoma.

Caracterização do parque de equipamentos e camiões florestais em Portugal

A especificação dos sensores para recolha de informação nos equipamentos florestais requer o conhecimento sobre o parque de equipamentos e camiões florestais em Portugal (os modelos e marcas). Contudo, não se conhece nenhum estudo recente neste contexto. As máquinas florestais não têm que estar cadastradas, ao contrário do que acontece com o registo das matrículas dos tratores agrícolas no IMT – Instituto de Mobilidade e Transportes³. Por isso não existe informação pública disponível sobre o assunto.

Foram realizados contactos com técnicos florestais e importadores de equipamentos que permitiram tirar algumas conclusões relativamente à caracterização do parque de equipamentos e camiões florestais em Portugal. De acordo com a informação recolhida, atualmente no mercado nacional podem encontrar-se diversos modelos e marcas de equipamentos em termos de **sistemas de corte**, fabricantes e ano de aquisição. Entre os mais utilizados podem-se citar os *Harvesters* e *Forwarders* de rodas da John Deere, Ponsse, Rottne, Timberjack e Valmet. As principais marcas de cabeças de corte são: Vicorte, SP, Waratah e Lako. Nas giratórias adaptadas a Volvo, Hitachi e Hyundai são as mais representativas.

O modelo de negócio vigente no mercado assenta na contratação do abastecimento de madeira a terceiros, por parte das empresas industriais. Existem empresas só transportadoras, empresas que só fazem exploração florestal, e empresas que desenvolvem toda a atividade. São em geral pequenas e médias empresas, a maioria com equipamentos pouco modernizados, e com baixa utilização de dados digitais. Predominam as máquinas adquiridas em 2ª mão provenientes de países do Centro e Norte da Europa. A importação de máquinas florestais também não obriga ao seu cadastro. No que se refere aos principais investimentos em equipamentos florestais para exploração, sendo esta atividade ainda muito assente nas operações motomanuais, verifica que as motosserras para abate manual têm maior representatividade relativa (por exemplo, tendo em conta o Relatório e Contas 2019 Unimadeiras). Uma das razões desta evidência é que nas regiões Norte e Centro a propriedade é muito fragmentada.

³ www.imt-ip.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Matriculas/VeiculosNovos/TratoresAgricolas/Paginas/MatriculaTratoresAgricolasNovos.aspx

(No recente processo cadastral eBUPI a média do prédio rústico é de 0,57 hectares num processo em 14 distritos (eBUPI, Pedro Tavares, 2021)). Isso ajuda a explicar porque é que muito do abate e toragem ainda se faz por meio moto-manual, embora sejam crescentes as dificuldades de mão-de-obra e a adoção da mecanização em áreas de dimensão superior. No entanto, atualmente, está-se a evoluir para uma situação de menos mão-de obra, onde a exploração mecanizada ultrapassa a manual em grande parte do território, cujos investimentos são muito mais avultados e só as empresas com alguma dimensão/carteira de intervenções (que ultrapassa a questão da estrutura da propriedade), conseguem investir neste tipo de equipamentos.

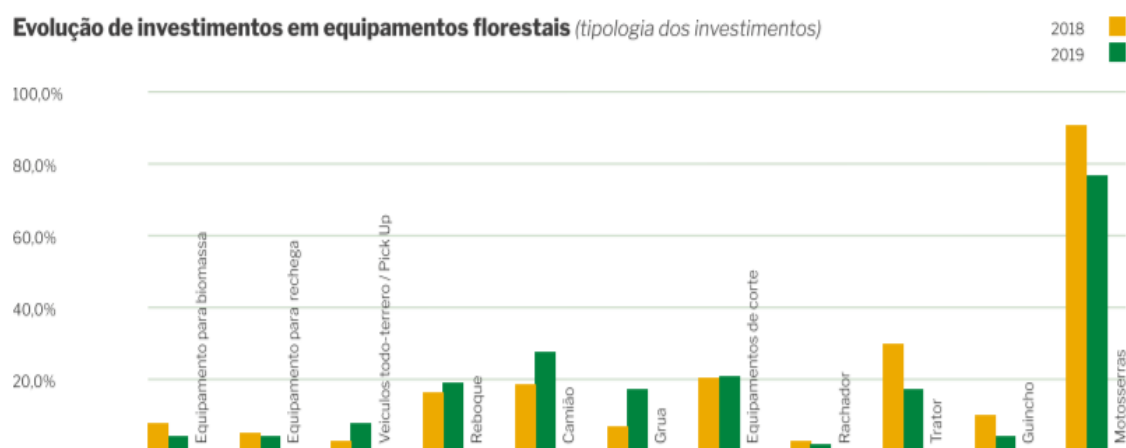


Figura 3 - Evolução de investimentos em equipamentos florestais (retirado de Relatório e Contas 2019 Unimadeiras)

Em paralelo, deu-se início a um levantamento mais detalhado desta informação através de um inquérito, cujos resultados serão publicados num documento próprio. Os representantes / importadores das marcas Ponsel, Rottne, JohnDeere, Volvo, CAT, entre outras, foram consultados traduzindo-se numa estimativa aproximada do parque de máquinas com atividade recente.

Tabela 1 – Resultados do inquérito de levantamento dos tipos de equipamentos florestais em Portugal

Tipo de equipamento	Nº equipamentos
Harvesters – processadoras de rodas	278
Giratórias – escavadoras adaptadas	365
FELLER BUNCHER (disco)	7
Forwarders – autocarregadores	715
Skiders - arrastadores	28

Nota: esta consulta apenas retrata os equipamentos florestais conhecidos e seguidos pelos representantes / importadores de máquinas (novos e usados). Pelo que se estima que o número total real seja superior, contando com máquinas antigas existentes com baixa atividade e de outras marcas e proveniências.

As principais conclusões deste inquérito poderão ser traduzidas no facto de:

- Existirem no mercado a operar equipamentos dedicados à atividade de exploração florestal com idade muito distinta, que vai desde 1995 a 2021.
- Verificar-se, em termos relativos, a predominância de máquinas de rastos, giratórias com cabeças de corte adaptadas, em relação aos equipamentos de corte e processamento –

harvesters (rodas). No entanto, o número de processadoras de rodas tem vindo a aumentar recentemente.

- Verificar-se que a adoção de feller ou de cabeças feller dedicadas ao corte ser uma tendência mais recente no mercado que começa a cativar mais equipamentos, existindo atualmente mais cabeças feller de guilhotina do que de disco, evidenciando a tendência de substituição de mão-de-obra no abate.
- Existem muitos equipamentos inventariados mas que não têm atividade recente. Neste retrato não estão incluídos os tratores com reboque florestal.

Em relação aos **camiónes de transporte de madeira** a frota existente é muito diversa, quer em equipamentos e marcas quer em idade dos mesmos, sendo que o mais comum é a utilização de carro (trator) com galera acoplada ou semirreboque. O carro (trator) dado ser um veículo independente e móvel pode executar diferentes serviços não estando dedicado somente ao transporte de madeira. Existem também carros dedicados ao transporte de madeira que possuem galeras com grua que permitem o autocarregamento da madeira. Por fim, o carro com “chico”, é um camião dedicado com reboque e que inclui grua, dependendo do número de eixos e tração, que consegue deslocar-se em matas com acessos mais difíceis para a extração da madeira.

No caso dos **camiónes de transporte de biomassa** são constituídos por carro (trator) e semi-reboque, que pode ser basculante, “banheiras” ou de piso móvel para transporte de biomassa triturada. A rolaria para biomassa é transportada em camiónes de transporte de madeira. A biomassa de cepos (inteiros ou triturados) é transportada em unidades basculantes, tipo “banheira”, que podem ter diferentes volumetrias, que vão desde os 20 a 90m³. Os reboques e semirreboques novos com peso bruto acima dos 300 Kg, requer registo no IMT, mas desconhecem-se estatísticas sobre o número de camiónes com utilização florestal.

2.3. Sistemas de informação e outras tecnologias digitais

A gestão florestal, o planeamento e tomada de decisão, por parte das grandes empresas tem como base a utilização de sistemas de informação, com funcionalidades específicas para o planeamento com maior ou menor complexidade. No caso de pequenos e médios proprietários, +e frequente usarem SIG para apoiar a cartografia temática. A adoção de um sistema de informação de apoio ao planeamento, com uma arquitetura ajustada e modelada à gestão florestal, permite a estruturação da informação de forma sistematizada, promovendo uma análise mais expedita e a tomada de decisão mais estruturada e rápida, favorecendo a comunicação entre equipas locais, regionais e nacionais. São muito raras as empresas que integram as tecnologias digitais no seu processo de trabalho, e quando o fazem, é de forma parcial e/ou esporádica, seja no âmbito do corte e recheja, seja no transporte.

Um dos sistemas atualmente em utilização em Portugal é o **INFLO** (<https://www.inflor.com.br/>). Este software brasileiro é utilizado por diversas empresas que gerem cerca de 12 milhões de hectares em todo o mundo e permite a agregação de várias áreas como a gestão de ativos e de operações silvícolas. A informação existente no sistema é a base para o planeamento da exploração florestal. Estão incluídos vários módulos na solução, por exemplo: a angariação de terras e gestão de cadastro florestal; planeamento de operações silvícolas de acordo com modelos de silvicultura e produtividade; inventário florestal; exploração, seleção de matas a corte, e logística associada; cartografia; fluxo de processos de decisão e validação e análise de dados.

No que diz respeito ao transporte de madeira, em Portugal são utilizados pontualmente sistemas de informação para gestão de frota, mas não é uma rotina. Alguns dos sistemas em funcionamento são: a **cartrack** e a **gesfrota**. Estes sistemas permitem: a localização de local de carga; visualização e análise

de percurso /trajeto; tipos de paragem (parado, ralenti, etc.); verificação de chegada ao destino; contabilização de tempo em fila de espera e descarga.

Nestes casos, os dispositivos de GPS são colocados nos tratores dos camiões, que comunicam com a plataforma de gestão associada. A situação atual reflete uma boa adesão a este sistema, com dispositivo GPS em mais de 90% dos camiões que trabalham para grandes empresas com transporte diário de madeira. No entanto, existem melhorias a introduzir como a integração da informação georreferenciada das pilhas de madeira na mata e a otimização de rotas de veículos que hoje ainda não é feita, o que permitiria uma gestão em tempo real da frota.

Em Portugal, as Universidades e Centros de Interface têm desenvolvido protótipos de sistemas avançados de planeamento florestal. Alguns exemplos são:

- A plataforma **SIMFLOR** disponível em <http://www.isa.ulisboa.pt/cef/forchange/fctools/>: integra diversos simuladores desenvolvidos para as principais espécies florestais portuguesas
- O sistema **ForSCOPE** – Sistema de Optimização da Cadeia de Abastecimento Florestal, disponível em http://forscope.inesctec.pt/modules/leaflet/examples/index_node.php: funciona como Marketplace digital para a biomassa florestal, disponibilizando informação sobre a oferta e procura de biomassa florestal para vários tipos de utilizadores. Permite também o planeamento da cadeia de abastecimento, ou seja, sequencia as operações de estilhagem da biomassa florestal atendendo à frota de equipamentos disponíveis e respetivas produtividades, de forma a minimizar os custos logísticos e satisfazer os contratos de abastecimento das centrais de biomassa. Poderá ainda fornecer as rotas ótimas de transporte e estimativas de consumos.

3. Situação futura (“to-be”): Exploração Florestal 4.0 sustentável

A **floresta 4.0** é um novo paradigma alicerçado na utilização de tecnologias digitais para recolha de informação - grandes volumes de dados, elevada precisão, grande frequência - para apoiar o planeamento e a tomada de decisão na exploração florestal em tempo real (e.g. Scholtz, et al. 2018).



Figura 4 - Floresta 4.0. Floresta de precisão inteligente, www.youtube.com/watch?v=h1HSP95oSel

Outro conceito emergente, a par com o da floresta 4.0, é a **sustentabilidade das operações florestais** (SFO). A resposta das atividades florestais aos diferentes requisitos societais, sejam eles o Pacto Ecológico Europeu (European Green Deal), a Estratégia Europeia para a Biodiversidade (European Biodiversity Strategy) ou os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (UN Sustainable Development Goals), são fundamentados na gestão florestal sustentável (SFM). No caso específico das operações florestais o novo paradigma da SFO considera os impactos das operações no ambiente; ergonomia; economia; otimização da qualidade dos produtos e da produção; nas pessoas e sociedade (Schweier, 2019). Este conceito atende de forma integrada ao valor da madeira enquanto produto renovável e integrado na economia circular, à segurança e bem-estar dos operadores, e à utilização eficiente dos equipamentos de forma ambientalmente responsável (Marchi, 2018).

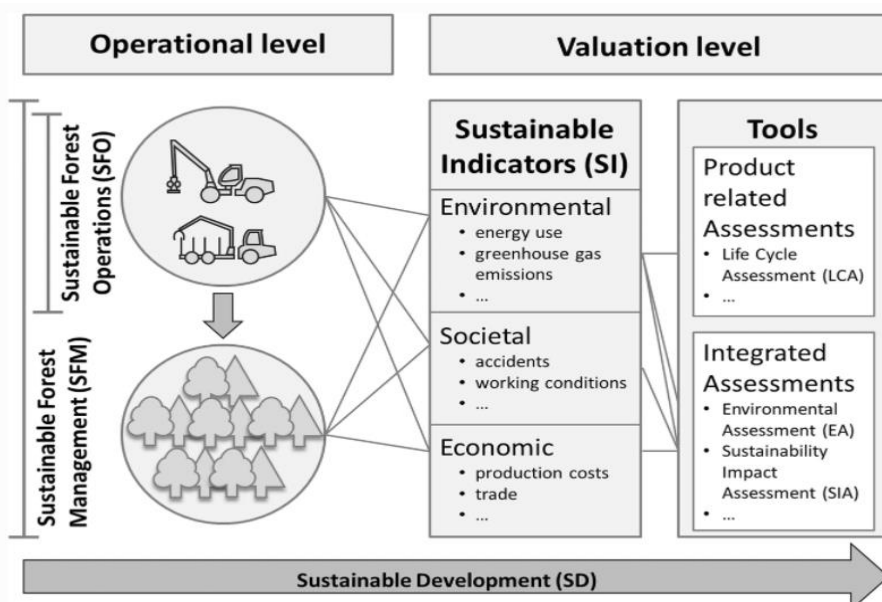


Figura 5 - Gestão florestal sustentável e Operações florestais sustentáveis (Schweier, 2019)

Assim, a visão futura para transição dos processos relacionados com a exploração florestal em Portugal para o novo paradigma da floresta 4.0 sustentável tem como drivers principais:

1. **Recolher e transmitir informação de forma automática para monitorar remotamente a execução de operações florestais.** Recorrer a sensores nos equipamentos de corte (existentes e novos) e outros dispositivos complementares na frente de trabalho, os quais deverão ser suportados por sistemas de interoperabilidade e comunicação (“internet na floresta”). Estas soluções já existem em operação noutros países e importa adaptar e testar nas condições da floresta portuguesa;
2. **Permitir a análise e partilha de informação relevante para apoiar o planeamento e a tomada de decisão dos vários intervenientes.** Recorrer a sistemas avançados de planeamento que funcionam em “back-office” a partir da informação recolhida na frente de trabalho. Estes sistemas podem calcular indicadores de performance e segurança dos operadores, podem fornecer informação para integrar nos processos de gestão (ex: mapas de produtividade para apoio à adubação). Estes sistemas podem inclusive identificar atrasos e desvios ao planeamento da exploração e transporte e sugerir o replaneamento; atualmente, estes sistemas são pouco utilizados em Portugal.
3. **Criar as condições para a adoção de maquinaria robótica** para aumentar a eficiência e sustentabilidade das operações, fazer face à escassez de mão-de-obra e também, garantir maior sustentabilidade das operações florestais, o que implica que o uso dos equipamentos atenda aos impactos no solo, às emissões de GEE, às condições de trabalho e à redução dos riscos e acidentes graves.

Esta visão conduz à alteração da arquitetura de processos que inclui uma nova “camada” relacionada com a monitorização das operações na frente de trabalho, prevendo-se trocas de informação bidirecionais entre a camada de planeamento e a execução. Além disso, ao adicionarmos a variável tempo, a tecnologia poderá permitir a gestão em tempo real de frotas de camiões e máquinas florestais, monitorizando a velocidade, rota percorrida, localização, movimentação da operação de corte e das máquinas das estradas e informações de telemetria. Os benefícios vão muito além do maior controlo da operação, uma vez que permitem ganhos em produtividade ao analisar aspetos como tempo de paragem das máquinas, rotas e revisão de processos de gestão e planeamento.

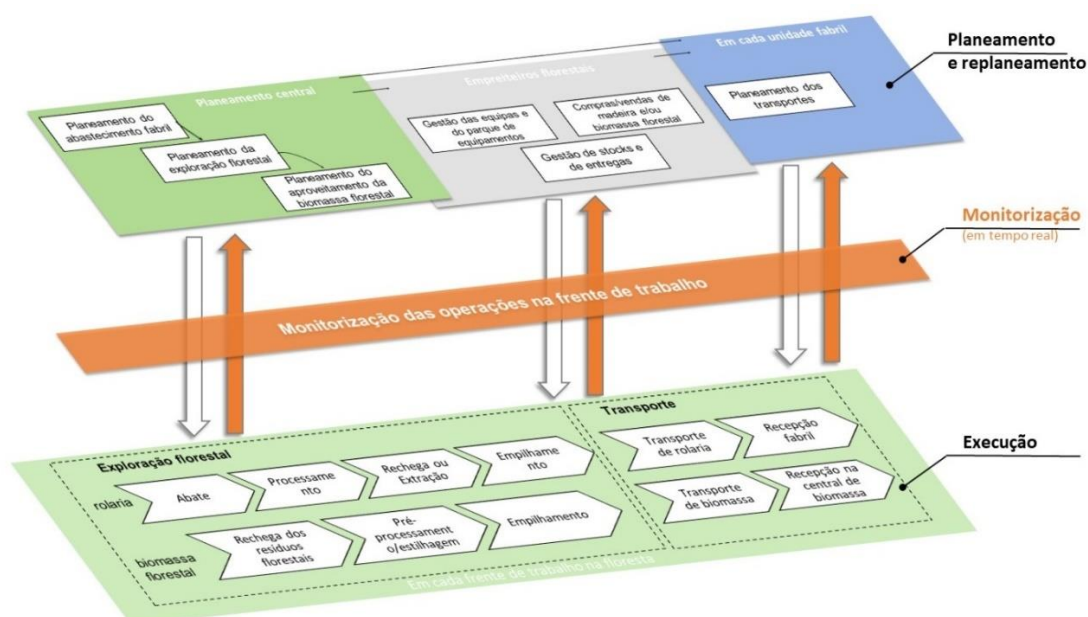


Figura 6 - Representação gráfica dos principais processos relacionados com a exploração florestal: situação futura

3.1. Estado da arte sobre maquinaria e tecnologias floresta 4.0

O Conceito de floresta 4.0 remonta a 2002 (Kováčsová, P., & Antalová, M. (2010), mas a sua utilização tem vindo a generalizar-se ao longo da última década. Inclui uma grande variedade de tecnologias desde a imagem de satélite, a tecnologia LIDAR (light detection and ranging) com aplicação aérea ou terrestre, e outros sensores instalados em pontos específicos dos equipamentos, que permitem em tempo real monitorizar a floresta e acompanhar a execução das operações. Existem vários projetos de investigação que demonstram o potencial da tecnologia, mas, na maior parte dos casos, a sua adoção destas tecnologias digitais pelas empresas florestais em Portugal é ainda escassa. O projeto piloto da indústria de pasta e papel CENIBRA, no Brasil, é particularmente interessante pois permitiu quantificar os ganhos decorrentes da utilização da solução floresta 4.0, nomeadamente: *6,3% na produtividade dos equipamentos, redução de mais de 20 mil horas por ano indevidas de motor ligado, aumento de 1% na eficiência operacional e redução significativa de horas de digitação*. Neste projeto, foi usado um *tablet* instalado na cabine do harvester – o Display Timberfleet – onde o operador pode registar a sua identificação, paragens e motivo da paragem. Foi instalado um dispositivo de comunicação dos dados do CAN-bus e também do utilizador e foi desenvolvida a integração com o sistema de informação usado na empresa - My Forest (Abreu et al. 2019).

Exemplos de projetos e iniciativas internacionais no âmbito da floresta 4.0:

<p>CHAIN WOOD https://www.chainwood.eu/ Líder: fmC forestal consultores Galiza, Espanha</p>	<p>O grupo operacional ChainWood agrega capacidades do setor madeireiro e florestal com empresas e centros de tecnologia, para o desenvolvimento de software baseado em tecnologia blockchain e IoT que contribui para melhorar a rastreabilidade, competitividade e eficiência do setor.</p>
<p>Forest Productivity www.forestproductivity.co.za Líder: Pierre Ackerman, África do Sul</p>	<p>Iniciativa da Stellenbosch University juntamente com a indústria florestal da África do Sul. Disponibiliza uma metodologia standard para recolha e análise dos tempos de trabalho e um repositório de valores standard para produtividade de vários tipos de equipamentos em diferentes condições. Também inclui um modelo de costeiro para as operações. Analisaram o potencial de utilização da informação dos computadores de bordo. Disponibiliza software e manuais técnicos.</p>
<p>FPIInnovation initiative on Forest 4.0, Canadá</p>	<p>FPIInnovations é uma organização privada sem fins lucrativos especializada na criação de soluções em apoio à competitividade global do setor florestal. Lidera um projeto nacional de floresta 4.0. https://web.fpinnovations.ca/forest-operations/</p>
<p>FOCUS www.focusnet.eu projeto europeu terminado em 2016, Liderado por INESC TEC, Portugal</p>	<p>Este projeto desenvolveu uma plataforma de IoT para planeamento e controlo das cadeias de abastecimento florestal. A plataforma incluiu vários tipos de sensores para recolha de dados – sensores ambientais, sensores embebidos nas máquinas de corte e camiões – sensores nos equipamentos industriais –, bem como sistemas avançados para monitorização dos dados e apoio ao planeamento.</p>
<p>TEC4EFFECT http://www.tech4effect.eu projeto europeu em curso Liderado por: Rasmus Astrup, Gernot Erber</p>	<p>Alguns resultados da atividade de exploração florestal (liderada pela Universidade BOKU, Austria): 1) Rede de estradas florestais: mapeamento, manutenção, capacidade de carga; semáforo que indica se uma estrada está ou não em condições de ser usada, atendendo às condições meteorológicas (atuais e dos últimos dias) e à humidade do solo (evitar compactação); 2) Exploração florestal por sistema "de cabo" para zonas montanhosas; 3) App. para Optimização do traçamento do toro em corte com motosserra (https://play.google.com/store/apps/details?id=com.latschbacher.buckingapp&hl=en&gl=US); 4) Ajustamentos na calibração das máquinas de corte para redução do consumo de combustível; possibilidade de utilização de um "controlador na máquina" em escavadoras adaptadas para exploração florestal - caso de estudo na Fibria, artigo de Spinelli disponível em https://www.mdpi.com/1999-4907/10/1/43. Na atividade liderada pelo Instituto de Investigação NBIO, Noruega, foi criada a plataforma silvismart para acesso aos dados recolhidos nas máquinas florestais, usando o standard StandForD. A plataforma já está a ser usada e tem acesso gratuito através de: https://www.silvismart.eu/. Contudo, o modelo de negócio ainda está em discussão.</p>
<p>SIMWOOD Projeto europeu terminado em 2017 http://simwood.efi.int/</p>	<p>O projeto visa aumentar a conscientização sobre os desafios e oportunidades da mobilização de madeira nas plantações florestais, aumentando a colheita sustentável de madeira. Originou um relatório "Handbook" com iniciativas para mobilização da madeira, disponível em: http://simwood.efi.int/uploads/Publications/SIMWOOD_handbook_2017.pdf</p>

Exemplos de máquinas florestais 4.0

A sensorização, automação e robótica para a floresta é uma área em expansão. Numa breve análise do estado da arte, encontram-se vários exemplos de máquinas de corte (comerciais e protótipos) com **sensores incorporados** para inúmeras aplicações (figuras 6 e 7), por exemplo:

- GPS para localização, mas também velocidade e distâncias percorridas
- Sensores de temperatura, humidade, pressão do ar e luminosidade
- Sensores para aferir as condições do solo
- Sensores para medir o desgaste dos pneus e o consumo de combustível
- Sensor para medir o peso do equipamento
- Sensores para ajustar o equipamento à geografia do terreno
- Sensores nas ferramentas de corte (inclinação, diâmetro, comprimento do toro)
- Câmaras e tecnologia LiDAR para recolha de dados sobre a floresta envolvente e o detalhe das árvores a corte, que poderão ser úteis para estimativas de inventário do volume a corte

Estes sensores permitem recolher informação de forma automática sobre vários aspetos chave da **Operações Florestais Sustentáveis**, nomeadamente:

- A redução dos impactos no solo decorrentes da utilização dos equipamentos, dando-se relevo às questões como a compactação do solo e a erosão.
- A utilização de tecnologias que otimizem o consumo de energia no sistema e diminuam as emissões de GEE. Atender à otimização dos processos (ex: transporte) e à utilização de equipamentos com maior eficiência energética; À segurança dos trabalhos, que inclui a sinalização adequada, a avaliação e informação prévia, equipamentos com melhorias na ergonomia e processos de trabalho adequados, que diminuam o risco e a ocorrência de acidentes graves, bem como, alertas de risco de incêndio máximo.
- A utilização de tecnologias e processos que causem menos impacto ambiental nas áreas de operação, nomeadamente mapeamento digital e sinalização de aproximação de zonas ambientalmente sensíveis (ex: linhas de água, ninhos, etc.) e da recolha para reciclagem de resíduos (ex: óleos)
- A utilização de tecnologias que promovam a localização, concentração e a movimentação dos produtos florestais causando o menor impacto possível nas estradas e na diminuição dos riscos (ex: incêndio), utilizando metodologias de apoio à decisão e mapeamento adequado, com otimização dos caminhos de chegada (redução de emissões, evitar linhas de água, etc.)
- A melhoria dos custos e da produtividade, melhorando a eficiência dos processos de exploração de madeira e biomassa ao longo da cadeia.

A **informação recolhida nas máquinas** pode ser disponibilizada ao operador através de um ecrã de monitorização no interior da cabine, por exemplo o Opti 4G para harvester e o Opti Control para forwarder comercializados pela Ponsse. A informação também pode ser visualizada remotamente em softwares específicos de gestão de operações. Estes softwares são geralmente de acesso pago, comercializados pelos fabricantes de maquinaria florestal como acrescento à maquinaria, como o Ponsse Manager comercializados pela Ponsse, mas começam a aparecer soluções independentes do fabricante como o Forest HQ comercializado pela empresa irlandesa TreeMetrics (www.treemetrics.com) (figura 8). Associado a isto, encontram-se dispositivos de comunicação destes dados a partir da floresta, onde a conectividade nem sempre está assegurada. O standard de informação mais adotado é o StandForD2010, descrito na secção seguinte. A utilização de dados de múltiplos sensores e/ou máquinas requer a adoção de standards e soluções de interoperabilidade, numa lógica de Internet of Things (IoT). Um dos primeiros exemplos de soluções integradas para planeamento e controlo de operações florestais foi desenvolvido no âmbito do projeto europeu FOCUS (www.focusnet.eu), liderado pelo INESC TEC em Portugal (2014-2016). Desde então, têm-se

desenvolvido vários projetos Floresta 4.0, por exemplo, no Canadá liderados pela FPInnovations, mas também na Suécia e Nova Zelândia. Perspetiva-se que a localização e mapeamento em tempo real das operações de corte e recheia potenciadas por estas soluções possam trazer mudanças significativas no setor (Billingsley 2008).

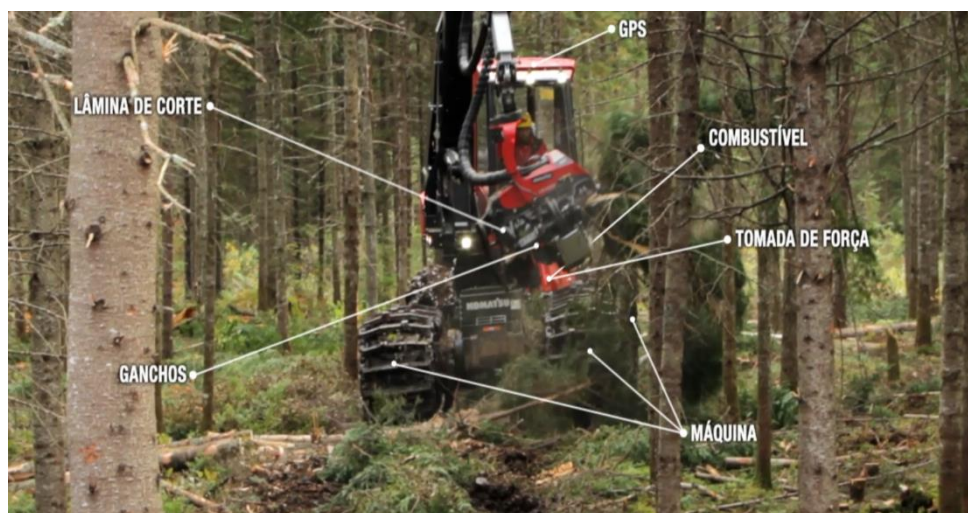


Figura 7 - Exemplos de sensores incorporados nos equipamentos de corte

Atualmente as máquinas florestais são operadas manualmente por um operador que está no interior da máquina, através de controlos diretos mecânicos, hidráulicos ou elétricos. Mas perspetiva-se a possibilidade de **operação remota das maquinarias**, quer por controlo remoto (i.e. a máquina está dentro do raio de visão do operador, através de um sinal de rádio) ou por teleoperação (i.e. a máquina está fora do raio de visão do operador, e este baseia-se numa imagem de vídeo ou sensores radar, LiDAR ou sonar transmitidos pela máquina) (Parker et al. 2016). Os primeiros exemplos de máquinas florestais teleoperadas surgiram em 2015, na Nova Zelândia, numa máquina escavadora John Deere 909 (Milliken 2015), estando já em comercialização⁴. As máquinas de corte autónomas começam a ser estudadas, por exemplo, numa colaboração entre o Canadá e a Suécia⁵, procurando adaptar maquinarias e conceitos adotados noutros setores como agricultura e exploração de minas. Neste caso, a máquina opera sem supervisão do operador, reduzindo por isso os riscos para o operador e contribuindo para ultrapassar a escassez de mão-de-obra.

Um desafio importante associado à teleoperação e automação é o **posicionamento e navegação das máquinas na floresta** para que possam realizar as operações. Existem limitações à utilização do sistema *Global Navigation Satellite System (GNSS)* devido à escassez de sinal nas zonas florestais. Por isso, têm surgido novas abordagens de localização sem GPS baseadas em outros tipos de sensores nas máquinas que têm em conta a sua envolvente espacial. Estas abordagens requerem esforços consideráveis no desenvolvimento de algoritmos de *computer vision*. Perspetiva-se que com o progresso do desenvolvimento de câmaras e software de processamento de imagens, as máquinas de corte possam estender as suas funcionalidades e constituir estações móveis terrestres para recolher dados multivariados sobre a floresta, fazendo um paralelo com os *drones* que recolhem dados aéreos⁶ ou até fornecer conectividade às zonas envolventes.

⁴ <https://www.appliedteleoperation.co.nz/full-teleoperation/>

⁵ <http://blog.fpinnovations.ca/blog/2019/12/12/mou-with-swedish-forestry-institute-to-further-forestry-automation/>

⁶ <https://internationalforestindustries.com/2019/01/22/harvesters-volume-data-forests/>

Outro desafio no desenvolvimento de maquinaria florestal é melhorar a **forma de locomoção** para operar de forma mais eficiente em terrenos difíceis, com múltiplos obstáculos e em zonas remotas. Um dos conceitos mais inovadores em investigação na Escandinávia é a utilização de “pernas” em alternativa a rodas ou esteiras (e.g. Ismoilov, 2016). Na Nova Zelândia foi desenvolvido um protótipo que se desloca de árvore-para-árvore, com potenciais aplicações na desramação (Parker 2016).

Uma tendência global que afeta o desenvolvimento de maquinaria florestal é a **transição para motores totalmente elétricos ou híbridos** (i.e. i.e. com um motor diesel que é suportado por um motor elétrico). Existem já alguns modelos em testes como o Logset 12H GTE Hybrid⁷ comercializado pela empresa finlandesa Logset, em testes desde 2018. Outro exemplo é o El-forest F14 Forwarder que é o primeiro protótipo de forwarder híbrido que pode transportar até 14 ton de madeira⁸.



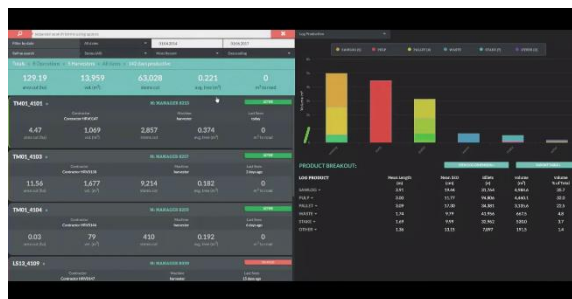
PONSSE Ergo -Scorpion



Máquina de corte John Deere 909 teleoperada



Ponsse Manager <https://www.ponsse.com/services/online-services/ponsse-manager#/>



Forest HQ, TreeMetrics



Logset 12H GTE Hybrid



El-forest F14 Forwarder

Figura 8 - Exemplos de máquinas de corte e *forwarders* equipados com vários tipos de sensores

⁷ www.logset.com/harvetters/logset-12h-gte-hybrid

⁸ <http://advantage-environment.com/workplace/an-electric-hybrid-for-forestry/>

Transporte de madeira e biomassa

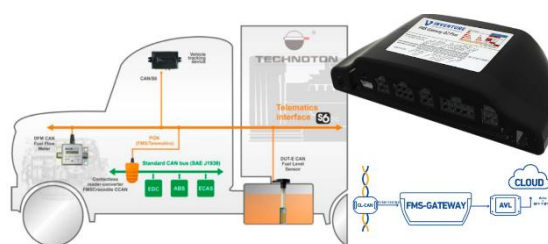
O transporte de cargas tem evoluído no sentido de aumentar a eficiência deste processo, quer pelo aumento da capacidade de transporte quer pela melhor utilização dos camiões. Por exemplo, os camiões **gigaliner** têm sido usados pela indústria de pasta e papel. Podem circular com um peso bruto até 60 toneladas (sendo o convencional até 40 ton), cumprindo todos os requisitos legais. Estes camiões requerem rede viária adequada, pelo que poderão não ser aplicáveis até à origem da madeira na mata, mas adequam-se ao transporte de parques intermédios e transporte multimodais rodo marítimo ou rodo ferroviário. As principais vantagens são a redução do número de camiões a circular, menor consumo de combustível e conseqüente redução de emissões.

Na digitalização do processo de transporte, a **recolha de informação** em tempo real é feita com dispositivos ligados ao CAN-bus do camião. Por exemplo o FMS-gateway utilizado nas indústrias florestais na Suécia, recolhe informação técnica do CAN-bus do camião e transmite para um backoffice central (Svenson & Fjeld 2016, 2017) (figura 9). A informação que pode ser recolhida a partir do CAN-bus é: velocidade do camião, número de revoluções (rpm), nível de combustível, distância total percorrida, taxas de uso de combustível (p.e., enquanto o camião está parado), temperatura do líquido de arrefecimento do motor, ID do veículo, torque real, pressão do turbo, informações de travagem e / ou dados de diagnóstico. Associado a isto, têm sido adotadas soluções comerciais baseadas em GPS para **localização remota**, que poderão alimentar software de gestão da cadeia de abastecimento, como o ForestTraza da empresa Agresta ou o protótipo ForSCOPE. Ainda de referir melhorias adicionais a introduzir no sistema de informação e gestão de transporte que permita a ligação às receções fabris de madeira e biomassa, com previsão de hora de chegada, para a preparação da logística necessária para efetuar a descarga da forma mais rápida.

O **controlo volumétrico da carga à entrada da fábrica** pode ser feito de forma automática, através de um portal com câmaras fixas. Existem no mercado soluções baseadas em *laser scanning*, como a Logmeter da empresa chilena Woodtech ou da empresa Maberna. Alternativamente, podem usar-se câmaras estereoscópicas, como as comercializadas pela Saab/microtec, que podem ser combinadas com *drones*. O LogVision é um exemplo de um protótipo de investigação da USB que permite a análise volumétrica de pilhas por análise de imagem com recurso a algoritmos de Inteligência Artificial.



Gigaliner com fardos de pasta



FMS-gateway: <http://www.iv-technoton.com/products/contactless-readers/fmscrocodile/>



T log: www.youtube.com/watch?v=-7xg3DQyOXw&feature=share



Source: Saab/Microtec

Portal de análise volumétrica da carga

Figura 9 - Exemplos de inovações tecnológicas no transporte de madeira

Tal como na maquinaria florestal, os **camiões elétricos** para transporte de cargas começam a entrar no mercado, de marcas como a Volvo e Tesla. A oferta de camiões híbridos ou elétricos especificamente para o transporte de madeira é escassa, embora estejam a surgir os primeiros protótipos como o T-Log ou Einride timber Pod, da empresa sueca E/NRIDE, lançado em 2018. A Stora Enso anunciou o início dos testes de um camião autónomo *self-driving* na Finlândia (www.storaenso.com/en/newsroom/news/2020/2/stora-enso-to-test-self-driving-truck).

Pré-processamento de biomassa florestal residual

No que diz respeito às operações de pré-processamento dos resíduos florestais, não se encontram exemplos de digitalização do processo por via da recolha de informação nas estilhadoras. Há, no entanto, a assinalar a aparente tendência por utilização de estilhadoras elétricas em especial nas fábricas. Para facilitar o transporte de sobrantes florestais e o seu armazenamento é possível utilizar forwarders modificados, com sistema bundler, que fazem fardos de biomassa.

Outra tendência é o desenvolvimento de equipamentos para a **densificação da biomassa** que facilita e reduz o custo de transporte. Têm sido desenvolvidos protótipos de equipamentos para enfardamento, adaptados da utilização agrícola, como por exemplo o Biobaler, que corta e compacta o material vegetal em fardos com cerca de 500-600kg. Outro exemplo de equipamento de corte seguido de destroçamento, tem sido testado nas plantações de eucalipto (culturas energéticas) no Brasil (Guerra et al. 2016) (figura 9). Outros equipamentos relacionados, para limpeza de matos e gestão de combustível, são abordados em detalhe no relatório da atividade 3.2. desde projeto.

Forwarder com sistema bundler



Biobaler:
<http://biobaler.com/wb-55.html>



Forageira New Holland adaptada para culturas energéticas florestais



Figura 10 - Exemplos de inovações tecnológicas no processamento de biomassa florestal

Outras soluções de floresta 4.0 com potencial aplicação para a exploração florestal em Portugal:

Equipamentos móveis com câmara para gestão das pilhas: permitem a sinalização diária de pilhas de madeira, com posição georreferenciada na mata, e com quantidade aproximada / indicativa para justificar carga de camião. Esta informação permite otimizar a gestão de transporte de madeira. Em combinação com informação sobre o peso da carga, permite também a “rastreadibilidade” digital da madeira, desde a origem de carga, percurso de transporte, chegada ao destino e receção da carga na fábrica. Algumas das soluções existentes no mercado são Logsize, Timbeter, IFOVEA e AFoRS.

Realidade aumentada: A utilização de dispositivos de realidade aumentada no planeamento operacional é uma área de investigação em expansão. Por exemplo, o projeto TimberOps está a desenvolver uma plataforma de realidade aumentada do tipo HMD [head mounted display (HMD)] para visualização da paisagem e topografia, com detalhe que pode ir até à árvore individual. Esta ferramenta pode ser usada para formação, gestão agrupada e planeamento de corte e desenho da rede de estradas florestais (<https://forestry.ubc.ca/research/how-virtual-reality-can-aid-forest-operations/>). Noutro exemplo, foi usado uma interface de realidade aumentada na cabine de uma máquina de corte, com um algoritmo capaz de aumentar virtualmente o campo de visão do operador e fornecer medições sobre a performance do *harvester* e o ambiente envolvente (Palonen, 2017). Uma das áreas mais promissoras é a formação de operadores de máquinas de corte com recurso a simuladores de realidade aumentada (Peedosaar et al. 2019) (ver figura 10).



Figura 11 - Exemplos de uso da realidade aumentada na floresta (TimberOps e Peedosaar et al. 2019, respetivamente)

Sistema Man Down (Homem caído) na floresta para maior segurança dos operadores: Sistema de alarmística que permita identificar “man down”, por exemplo, sempre que: 1) equipamento ligado (ao ralenti) mas sem execução de qualquer operação, durante mais de p.e. 5 min., sendo que seria enviado um SMS para a empresa com as coordenadas GPS do equipamento; ou 2) através de um sistema capaz de enviar um sinal de alarme automaticamente em todos os casos em que o trabalhador estiver na posição horizontal. Pode transmitir as coordenadas GPS via telemóvel, para os elementos do serviço de assistência (<https://www.sicomtesting.com/pt/blog/dispositivi-uomo-a-terra/>).

4. Arquitetura de Informação e interoperabilidade

4.1. Informação relevante para monitorização da exploração florestal

A informação a recolher em cada frente de trabalho da floresta é a seguinte:

Abate e processamento	<p>Por harvester:</p> <ul style="list-style-type: none"> N. árvores abatidas (N) Volume total abatido Consumo de combustível <p>Por árvore abatida:</p> <ul style="list-style-type: none"> N. da árvore Posição GPS e data/hora Espécie Volume da árvore <p>Por toro:</p> <ul style="list-style-type: none"> N. da árvore Comprimento Diâmetros -> volume cortado C/ ou s/ descasque <p>Volume do toro</p>
Rechega	<p>Por forwarder:</p> <p>Volume de madeira ou biomassa rechejada (por equipamento/dia)</p>
Empilhamento	<p>Por pilha:</p> <ul style="list-style-type: none"> Tipo de pilha Posição GPS e data/hora Dimensão da pilha (altura, largura, profundidade) Volume transportado a partir da pilha <p>Se pilha de madeira na floresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> Volume total de madeira ou biomassa rechejado para a pilha Distribuição dos toros de madeira por classe de diâmetro Número total de toros de madeira <p>Se pilha de resíduos florestais ou de estilha na floresta:</p> <ul style="list-style-type: none"> Volume total de resíduos florestais Volume total de estilha de madeira <p>Humidade da biomassa (ao longo do tempo) (opcional)</p>
Pré-processamento/estilhagem	<p>Por estilhadora:</p> <ul style="list-style-type: none"> Volume de resíduos florestais estilhados <p>Humidade da biomassa (ao longo do tempo)</p>
Transporte	<p>Por camião:</p> <ul style="list-style-type: none"> Volume de madeira ou biomassa transportado a partir de cada pilha Volume rececionado na fábrica <p>Humidade da biomassa rececionada na fábrica</p>
por equipamento/operador:	<p>Por equipamento e operador:</p> <ul style="list-style-type: none"> Posição GPS e data/hora (time stamp) -> Estado (em movimento, parado) Hora de início e fim ou Duração do turno (TT) Início e fim de cada "ciclo" de trabalho Paragens (inclui almoço e outras pausas) (TP); Identificação de avarias Consumo de combustível <p>Sinalização automática da realização da calibração (sim ou não)</p>

A partir desta informação pretendem-se monitorizar os seguintes indicadores:

Indicadores de produtividade: relevantes para o prestador de serviços e empresa florestal

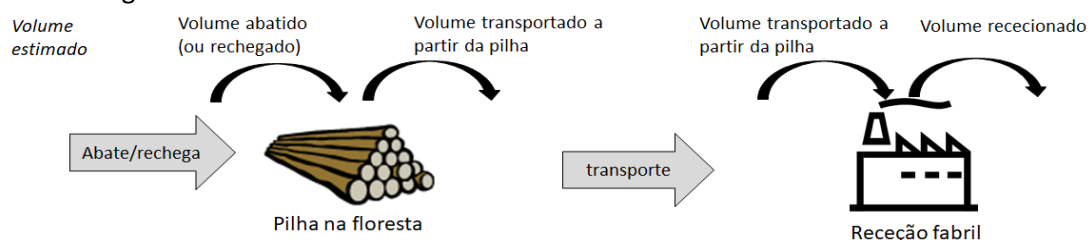
- **Tempo médio das operações:** calculado a partir da análise da posição do GPS e data/hora dos equipamentos que realizam cada tipo de operação, por equipamento e por frente de trabalho;
- **Produtividade das operações/equipamentos (abate, rechega, empilhamento, pré-processamento, transporte):** pode ser estimado através do OEE (Overall Equipment Effectiveness) também chamado de Eficiência Global do Equipamento. Este indicador é muito utilizado em gestão de operações pois mede a utilização operacional efetiva de um equipamento face ao seu potencial. O indicador OEE obtém-se multiplicando três fatores (OEE = Disponibilidade x Rendimento x Qualidade). A disponibilidade corresponde ao tempo efetivamente disponível, depois de subtrair as paragens tais como avarias, mudanças de série (setups), abastecimento. O rendimento corresponde ao número de peças boas produzidas no tempo disponível. A qualidade diz respeito às perdas devido à rejeição e recuperação de produção defeituosa.

Indicadores de produção: relevantes para o prestador de serviços, empresa e proprietário florestal

- **Volumes produzidos:** volume por unidade de tempo, por operação (abatido, rechegado, em pilha e transportado) e de acordo com várias escalas espaciais (p.e. por equipamento, por frente de trabalho, por espécie...) → possibilidade de visualização na forma de mapa de cortes (na cabine e *backoffice*) e de classes de produtividade do povoamento
- **Resíduos florestais produzidos:** estimativa do volume de biomassa florestal residual produzida em função do volume; possibilidade de estimar a biomassa de cepos a recolher em função dos diâmetros da base e do nº de árvores cortadas por área.

Indicadores da logística e cadeia de abastecimento: relevantes para o prestador de serviços, transportador e empresa florestal

- **Data de fim e duração prevista das operações na frente de trabalho:** calcular a velocidade de trabalho com base na produtividade e estimar a data de fim atendendo à data de início e à área a executar em cada frente de trabalho → Possibilidade de visualização na forma de calendário
- **Volumes disponíveis por pilha (atual e potencial):** balanço do volume existente nas pilhas;
- **Rastreabilidade dos fluxos de madeira e biomassa:** cálculo das variações nos volumes de madeira/biomassa entre as operações consecutivas, de forma a identificar possíveis perdas ao longo da cadeia de abastecimento.



- **Número de camiões necessários:** por dia e frente de trabalho

Indicadores de sustentabilidade: relevantes para o proprietário/gestor florestal e empresa florestal

- **Balanço de carbono:** estimativa do carbono emitido pelas operações florestais vs. carbono retido nos povoamentos florestais

Indicadores de manutenção: relevantes para o prestador de serviços

- **Consumo de combustível:** calculado a partir das estimativas de consumo de combustível por unidade de tempo, de cada tipo de equipamento;

4.2. StanForD 2010: standard de informação das máquinas florestais

O StanForD 2010 é o standard global que tipifica o conteúdo das mensagens (formato XML) que devem ser enviadas de e para as máquinas florestais de corte e recheга de madeira. O Standard StanForD 2010 foi publicado em 2011, substituindo uma primeira versão do standard (a versão “clássica”) desenvolvida no início desta iniciativa que remonta a 1987. É mantido pelo Skogforsk na Suécia (organização de investigação para o sector florestal sueco que apresenta uma com estrutura semelhante ao ForestWISE), e tem vindo a ser progressivamente melhorado e adotado pelos principais produtores de máquinas florestais, que financiam também esta iniciativa.

Resumo da situação atual de adoção do standard

A análise da bibliografia disponível e contactos diretos com os responsáveis pelo StanForD permitiram concluir que as máquinas dos fabricantes aderentes produzidas a partir de 2014 deverão suportar o StanForD 2010. Quer isto dizer que têm controladores integrados no *harvester* ou *forwarder* que lhes permitem registar de forma automática a informação discriminada no standard e no formato de dados também por ele definido e disponibilizar esta informação num “ficheiro standForD” que é compatível entre os vários fabricantes. Em cada ano, há uma nova versão publicada, que é tipicamente adotada pelos equipamentos produzidos nesse ano. Portanto, equipamentos produzidos anteriormente terão versões anteriores do standard. As primeiras máquinas com uma versão “clássica” do *standard* datam de 2000-2005. Mas existe uma ferramenta gratuita disponibilizada pela Skogforsk para fazer a conversão dos dados para o formato mais atual. A terminologia adotada no StanForD 2010 é apresentada no anexo 1. A lista de fabricantes de equipamentos florestais que adotam o StandForD é atualmente a seguinte⁹: Opti (Ponsee), Timbermatic (JohnDeere), MaxiXplorer (Komatsu), DesaForester, Motomit (Parker), xLogger (Technion), TOC2 (LogSet). Cada fabricante tem a sua própria solução tecnológica para recolher a informação e produzir o(s) “ficheiro(s) standForD”, enviar e receber o(s) ficheiro(s) a partir da máquina e consolidar/analisar a informação remotamente. Em alguns casos, a solução integral ou parte dela vem incluída no custo de aquisição da máquina, e noutras, requer uma licença adicional. Isto varia entre fabricantes e também de acordo com o país/região. Existem também soluções gerais produzidas por empresas especializadas, tais como a Forest HQ (TreeMetrics) e a Silvia7 (CGI), ForesterOffice (Dasa), SenderXC (SDC) e DP II (Haglof).

Existem quatro aplicações principais do *standForD 2010*, em uso nas empresas florestais nos países escandinavos, sendo que a principal é o *production reporting*¹⁰:

1. **Reporting da produção (*production reporting*)**, consiste na comunicação do volume cortado e rechegado por cada máquina. O princípio geral é que os dados são registados em cada máquina com grande detalhe - ao nível de cada toro cortado ou cada carga/parte de carga rechegada - e que depois são enviados para os sistemas de informação das empresas (ver figura 12).
 - o O principal ficheiro produzido no *harvester* é o do Volume cortado (ficheiro .hpr) que descreve o comprimento, diâmetro e qualidade de cada toro. Outro ficheiro possível é o Volume total cortado (ficheiro .thp) que é uma versão agregada do volume total e número de toros, quando não é necessária informação sobre toros individuais ou a capacidade de transferência é baixa.
 - o O principal ficheiro produzido no *forwarder* é do Volume rechegado (ficheiro .fpr) com o n. de toros, volume e peso da carga e onde foi descarregada. Inclui “time-stamps” (início/fim) da carga.
 - o Um novo de ficheiro Localização geográfica (ficheiro .ogr) foi introduzido no *harvester* e *forwarder*.
2. **Controlo da produção (*production control*)**, consiste no envio de instruções para o operador.
 - o Os ficheiros enviados para o *harvester*, incluem: Instruções do produto (ficheiro com extensão. .pin), mistura de espécies (ficheiro .spi) e identificação do equipamento (ficheiro .oin).

⁹ Empresas que suportam financeiramente o StanForD: Tigercat, Dasa, LogMax, Parker Hannifin Corp., Komatsu Forest AB, Ponsee Oy, Rottne AB, John Deere Forestry, Technion Oy, LogSet Oy, ForestPHD, Biometria (previously SDC), CGI, Skog-Data, Coillté

¹⁰ StanForD 2010– modern communication with forest machines. www.skogforsk.se/english/projects/stanford/stanford-2010/

- Os ficheiros enviados para o *forwarder* incluem: instruções para a recheга (ficheiro .fdi) e identificação do equipamento (ficheiro .foi).
- 3. Controlo de qualidade e calibrações (*quality assurance and calibration*)**, aplicação mais recente que permite assegurar que os sistemas de corte e recheга fazem medidas exatas de comprimento, diâmetro e peso. São mensagens enviadas principalmente entre a máquina e o calibrador, mas também podem ser enviadas para um auditor externo.
- O ficheiro enviado pelo *harvester* (ficheiro .hqc) diz respeito às medições de controlo do *harvester* num conjunto pré-determinado de toros que são medidos com calibrador externo.
 - O ficheiro enviado pelo *forwarder* (ficheiro .fqc) diz respeito ao controlo do peso da carga transportada e comparação com um outro equipamento externo usado para calibração.
- 4. Monitorização das operações (*operations monitoring*)**, consiste no registo de cada processo de trabalho individual, por operador e máquina (ficheiro .mom).

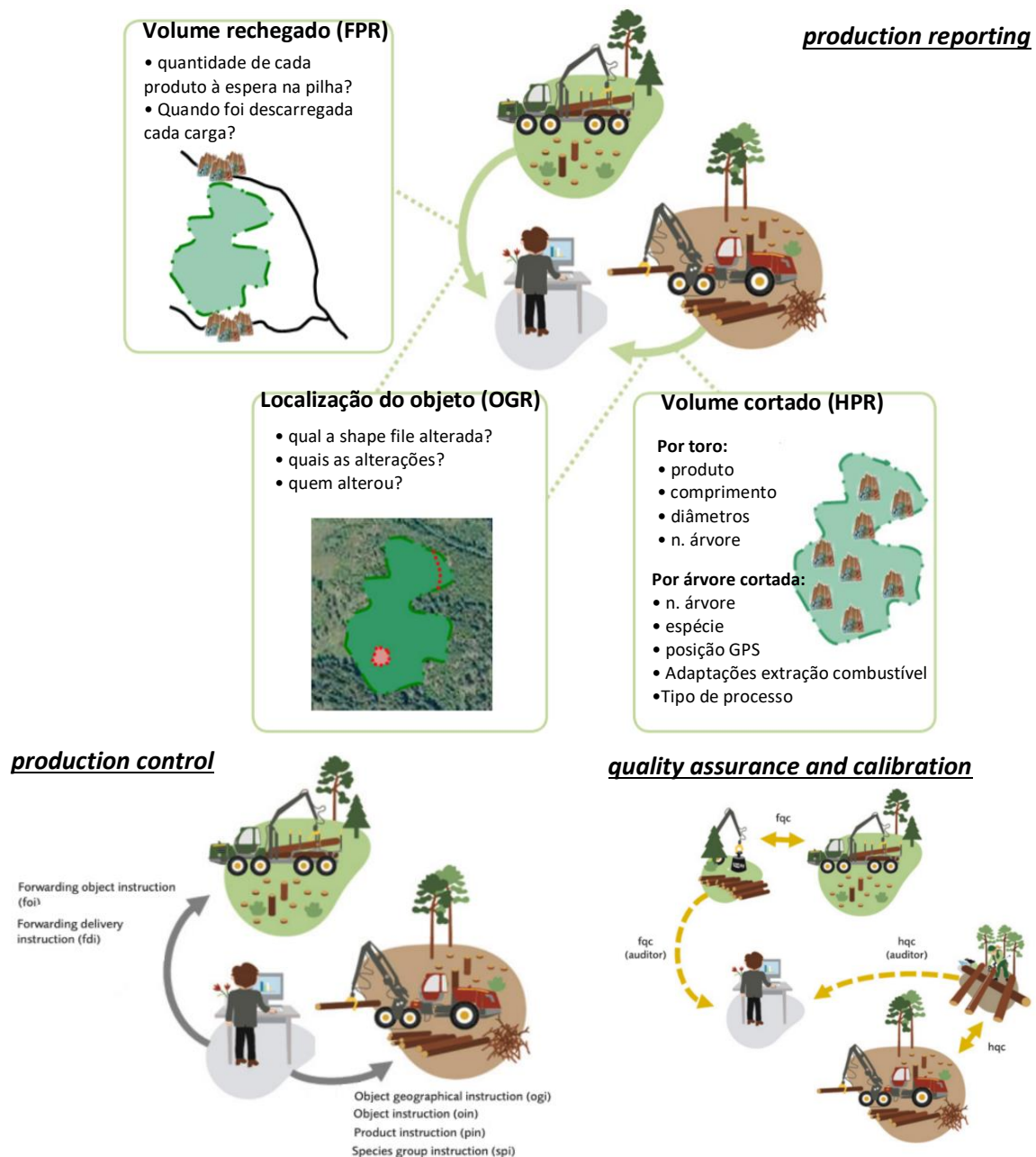


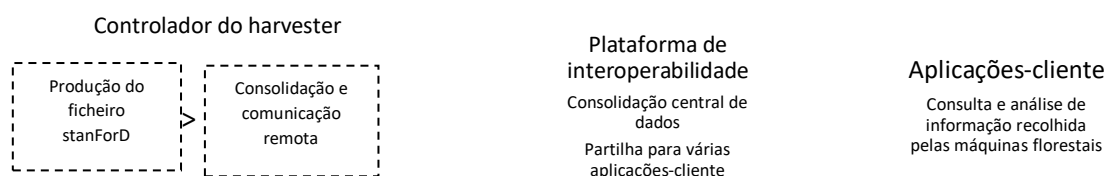
Figura 12 - "Ficheiros StanForD 2010" para report da produção, a mais importante é o HPR (Fonte: Skogforsk 2020)

Adoção do standard *standForD* 2010 no projeto REPLANT

O projeto REPLANT-PPS3, através da linha de atuação Cadeia de abastecimento e economia circular é pioneiro no estudo em Portugal da possibilidade de recolha e utilização de informação proveniente das máquinas florestais para apoiar a gestão das operações. O projeto reúne empresas florestais e prestadores de serviços que têm sob sua gestão o parque de máquinas florestais em colaboração com vendedores das principais marcas internacionais que dominam o mercado nacional, dado que a fabricação destes equipamentos em Portugal é residual. Em Portugal, o parque de máquinas florestais é muito diverso em termos de sistemas de corte, fabricantes e ano de aquisição de equipamentos, conforme apresentado na secção 2. Esta diversidade justifica a quase total ausência de utilização da informação recolhida pelas máquinas e cria dificuldades à sua adoção, especialmente quando comparado com a situação na Escandinávia onde o parque de máquinas é mais homogéneo em termos de marcas usadas e também mais recente.

O REPLANT-PPS3 tem interesse em investigar o stanForD uma vez que se trata do único standard conhecido para o efeito, adotado pelos principais fabricantes de máquinas florestais a operar em Portugal e perspetivando-se que o seu nível de adoção continue a aumentar em todo o mundo.

A abordagem de investigação que melhor se adequa ao contexto nacional é uma abordagem faseada, primeiro com enfoque no harvester e no envio a partir deste da informação relacionada com o reporting de produção. Depois, podendo estender ao controlo de qualidade e calibrações no harvester. Considera-se o seguinte esquema geral de recolha e utilização de informação recolhida pelo harvester:



Identificam-se desde logo diferentes situações relacionadas com o que é disponibilizado pelas máquinas a operar em Portugal, as quais requerem distintos esforços de desenvolvimento:

+ Grau de evolução	Harvester equipado com...	O esforço de desenvolvimento e adoção do standard é...	- Esforço de desenvolvimento
	... controlador que produz e comunica uma versão recente do "ficheiro stanForD" e fabricante disponibiliza solução integrada para consulta e análise de informação (<i>melhor caso, máquinas mais recentes</i>)	No desenvolvimento de testes de utilização da solução e eventual integração com outros sistemas existentes	
	... controlador que produz e comunica uma versão recente do "ficheiro stanForD" mas o resto da solução não está disponível	Na configuração do controlador do harvester; No desenvolvimento da Plataforma de interoperabilidade e Aplicação-cliente, de acordo com a estrutura de dados do StanForD	
	... controlador que apenas produz o "ficheiro stanForD"	Na implementação de novo dispositivo de acesso ao ficheiro no controlador e comunicação de dados (se necessário, registo de localização/tempo); No desenvolvimento da Plataforma de interoperabilidade e Aplicação-cliente, de acordo com estrutura de dados do StanForD	
	sem possibilidade de produzir "ficheiro stanForD"	Na implementação de novo dispositivo de recolha de localização/tempo e comunicação de dados do harvester; Na estimativa da produção média; No desenvolvimento da Plataforma de interoperabilidade e Aplicação-cliente, de acordo com estrutura de dados StanForD	

4.3. PapiNet: standard de informação para transporte de madeira

O papiNet é o standard global que tipifica o conteúdo das mensagens (formato XML) mais utilizado nas indústrias de papel e produtos florestais. Existem 8 grupos de trabalho relacionados com a definição e adoção do standard. O grupo da *Forest Wood Supply & Bioproducts* é o mais relevante para o transporte de madeira, embora o grupo da Logística também possa ajudar no desenho da cadeia de abastecimento, mas estando mais focado nos processos de distribuição da pasta e papel. Cada grupo de trabalho define casos de uso mais frequentes e as respetivas mensagens. O caso de uso *04 - Roundwood to a Pulp Mill in Central Europe* é o mais semelhante aos processos de transporte de madeira e biomassa em Portugal. A empresa florestal vende a madeira à fábrica de pasta e papel e subcontrata o transporte a uma empresa. Distinguem-se dois processos principais (figura 13), cujo detalhe das mensagens pode ser consultada em www.papinet.org.

Planeamento do transporte:

- A empresa florestal envia a mensagem DP1 (*Delivery Planning #1*) para a fábrica de pasta e papel para declarar as origens da madeira e quantidades estimadas a serem entregues na fábrica. Esta, por seu lado devolve a mensagem DP2 (*Delivery Planning #2*) e define a distância entre cada local de extração e a fábrica, que irá ser usada para faturação.
- A empresa florestal envia a instrução de entrega da madeira ao prestador de serviços de transporte a mensagem DI (*Delivery Instruction*), que por seu lado devolve a mensagem BS (*Business Acceptance*) com a confirmação do serviço.

Acompanhamento do transporte:

- Após o carregamento, a empresa de transporte envia para a empresa florestal a mensagem IS (*Inventory Status*) para informar sobre a quantidade restante em pilha. Isto é usado especialmente quando a pilha está vazia ou quase vazia.
- A empresa de transporte envia a mensagem DM (*Delivery Message*) para informar a empresa florestal sobre a entrega, e também a mensagem SS (*Shipment Status*) com informação sobre o transporte realizado e prova de entrega.
- A fábrica realiza a receção e medição da carga. Envia a mensagem à empresa florestal com a informação da medição MS1 (*Measuring Ticket type MeasuringTicket*) e também à empresa de transportes MS2 (*Measuring Ticket type Arrival Ticket*).
- A faturação do transporte é baseada na quantidade medida na fábrica e na distância (DP2). A empresa de transportes envia a fatura I1 (*Invoice*) à empresa florestal com as entregas do mês. A empresa florestal envia a fatura I2 (*Invoice*) à fábrica.

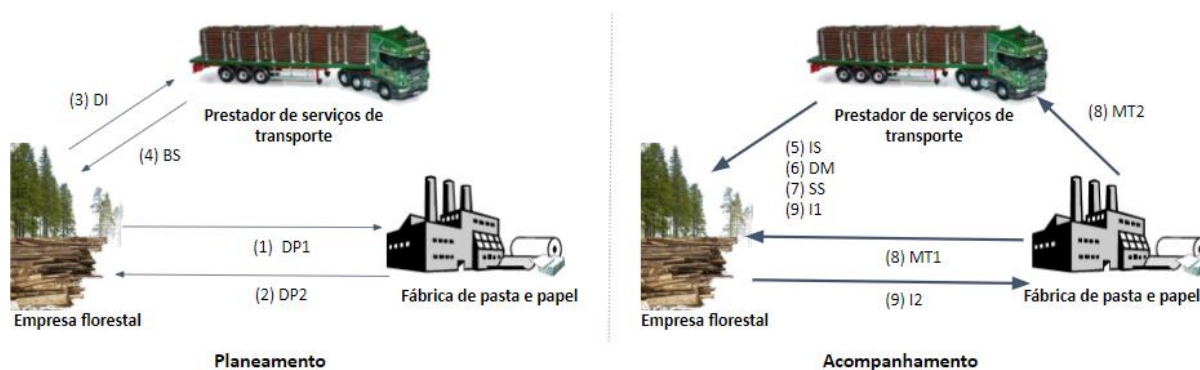


Figura 13 - Ficheiros PapiNet para o transporte de madeira

5. Arquitetura de aplicações e análise de requisitos

Os processos de negócio, a análise do estado da arte e a arquitetura de informação permitiram identificar a arquitetura de aplicações para a exploração florestal e seus componentes principais, de acordo com a figura 14, e qual prevê uma plataforma de interoperabilidade dos dados, uma vez que a arquitetura contempla diferentes sistemas de análise que deverão estar conectados.

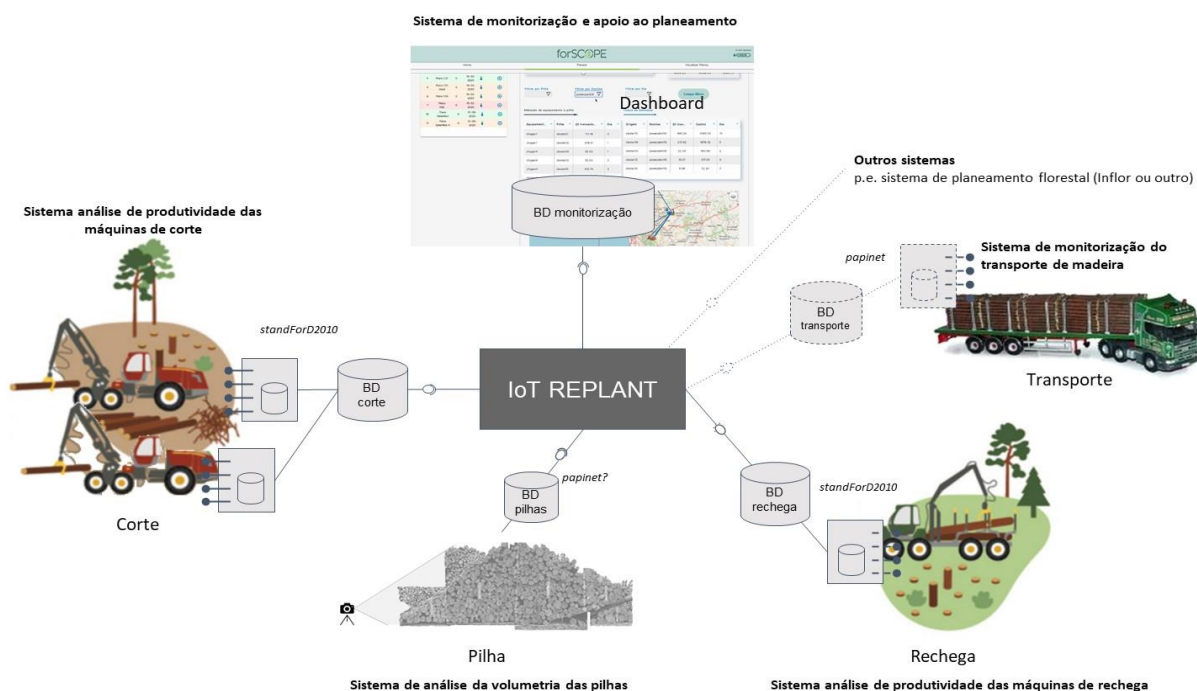


Figura 14 - Arquitetura das aplicações a desenvolver para a exploração florestal

A arquitetura proposta prevê um conjunto de sistemas de análise que são descritos a seguir e detalhados os seus requisitos nos pontos seguintes.

Sistema de análise de produtividade das máquinas de corte: Consiste num protótipo do dispositivo para acoplar às máquinas de corte, de baixo custo e multi-máquina e respetiva base de dados central “BD corte” onde ocorre a consolidação da informação. A análise realizada, sugere que os sensores incorporados nas máquinas de corte para recolha automática dos dados e a produção do StandForD2010 são suficientes para obter informação solicitada na secção 4.1., e, portanto, não se prevê incorporar novos sensores no dispositivo.

Sistema de análise de produtividade das máquinas de recheга: Sistema muito semelhante ao anterior, mas que deverá ser adaptado para equipamentos de recheга de madeira e de resíduos florestais.

Sistema de análise da volumetria das pilhas: Consiste num dispositivo móvel portátil que fornece estimativa do volume de pilhas de madeira e de resíduos florestais.

Sistema de monitorização e apoio ao planeamento: Será adaptado o protótipo de investigação ForSCOPE para visualizar os indicadores identificados na secção 4.1. para monitorização da exploração florestal, os quais serão calculados com base na informação recolhida nos restantes sistemas.

Plataforma de interoperabilidade IoT REPLANT: Plataforma que faz a canalização dos dados provenientes dos sistemas de recolha de dados e disponibiliza-os ao sistema de monitorização e apoio ao planeamento. A compatibilidade dos dados será assegurada pela adoção de standards internacionais, nomeadamente, o standard StandForD2010.

Sistema de monitorização do transporte de madeira: Sistema de posicionamento dos camiões de madeira e comunicação do volume transportado. Este tema está fora do âmbito do projeto atual.

Outros sistemas: por exemplo, o sistema de planeamento florestal, INflor ou outro. Este sistema deverá dar informação sobre os limites, titularidade, caracterização dos povoamentos florestais e da estação (solo, orografia, linhas de água, condicionamentos à gestão). A integração desta informação está fora do âmbito do projeto atual. No entanto deve haver a preocupação na interoperabilidade da informação que irá ser obtida no futuro com os sistemas que já estão atualmente a ser utilizados.

5.1. Requisitos dos sistemas de análise de produtividade - máquinas de corte recheга (SCC, SCR)

- O SPC deverá recolher toda a informação listada na secção 4.1. relativa ao abate e processamento e o SPR relativa à recheга. Ambos os sistemas devem recolher também a informação relativa ao equipamento/operador.
- Para os equipamentos com StandForD2010, a maioria desta informação estará disponível no “ficheiro” StandForD2010 da máquina, nomeadamente as mensagens relacionadas com o *production reporting*. A restante informação deve ser preferencialmente registada nesse ficheiro na área de informação específica do cliente.
- Para os equipamentos sem StandForD2010, deve analisar-se a possibilidade de recolha de informação num novo dispositivo autónomo, que possa ser independente do fabricante. Os dados recolhidos devem ser colocados no formato StandForD2010 para facilitar a consolidação de dados provenientes de outros equipamentos.
- Os dados deverão ser armazenados na máquina de corte ou recheга, até que sejam comunicados para o sistema IoT de forma automática. Devem salvaguardar-se questões relacionadas com a baixa cobertura de rede de comunicações nas zonas florestais.
- Deve permitir a recolha de dados na máquina, descarregando diretamente para um computador que poderá depois enviar os dados para o sistema IoT. Os dados consolidados serão consultados no Sistema de Monitorização e apoio ao planeamento.
- Ambos os sistemas deverão incluir a possibilidade de um *display* de cabine para apresentação dos dados recolhidos em tempo real e a evolução de um conjunto restrito de indicadores, por exemplo, desde o início da operação ou do dia.
- Todos os dispositivos a instalar nas máquinas de corte e recheга devem:
 - a) Ser robustos e dimensionados para não interferir com a normal realização das operações;
 - c) Garantir-se o seu correto funcionamento durante as operações de exploração florestal, sujeitas a altas temperaturas, grandes oscilações térmicas, humidade, ambiente com pó e com cargas a serem processadas e movimentadas;
 - d) Garantir-se grande autonomia de funcionamento. De preferência ligando diretamente a uma fonte de alimentação na máquina. Considerar a possibilidade de ter uma bateria autónoma para assegurar algumas funcionalidades, mesmo com a máquina desligada.

- Os sistemas deverão funcionar nas seguintes máquinas:

Tipo de equipamento	Marca	Modelo	Ano de fabrico	Empresa que irá permitir o acesso à máquina
SPC - Máquinas de corte:				
Giratória com cabeça de corte	CAT + SP		2018 (cabeça)	Florecha
Harvester	Ponsee	Scorpion	2018	Transfer
Giratória com cabeça de corte	HITACHI + Vicorte	ZX210LCN-6	2017	Mónica e Filhos
Harvester	Rottne	H11	2012	Madeiras Costódio e Filhos
SPR - Máquina de rechega:				
Forwarder	Rottne	F15	2010	Madeiras Costódio e Filhos
Forwarder	Ponsee	Buffalo	2020	Transfer
Forwarder	Rottne	F15D	2019	Florecha
Forwarder	John Deere	1510G	2019	Mónica e Filhos

5.2. Requisitos do sistema de análise da volumetria das pilhas

- Este sistema deverá permitir a recolha da informação listada na secção 4.1. relativa ao empilhamento. É requisito obrigatório o posicionamento, data/hora, o cálculo da dimensão e volume da pilha de madeira presente numa área florestal.
- Opcionalmente deverá também permitir:
 - a caracterização automática do material.
 - fazer estimativas do volume de uma pilha de resíduos florestais e de estilha.
 - fazer estimativas da humidade da biomassa.
 - fazer estimativas do volume da carga madeira num camião.
- A informação recolhida deverá ser visualizada em tempo real num display no (ou associado) ao dispositivo.
- Opcionalmente, no display, pode mostrar a evolução dos indicadores relevantes desde a criação da pilha.
- A informação recolhida deverá ser armazenada no dispositivo móvel e comunicados para o sistema IoT de forma automática. Devem salvaguardar-se questões relacionadas com a baixa cobertura de rede de comunicações nas zonas florestais.
- Deve permitir a recolha de dados na máquina, descarregando diretamente para um computador que poderá fazer depois o sistema IoT. Os dados consolidados serão consultados no Sistema de monitorização e apoio ao planeamento.

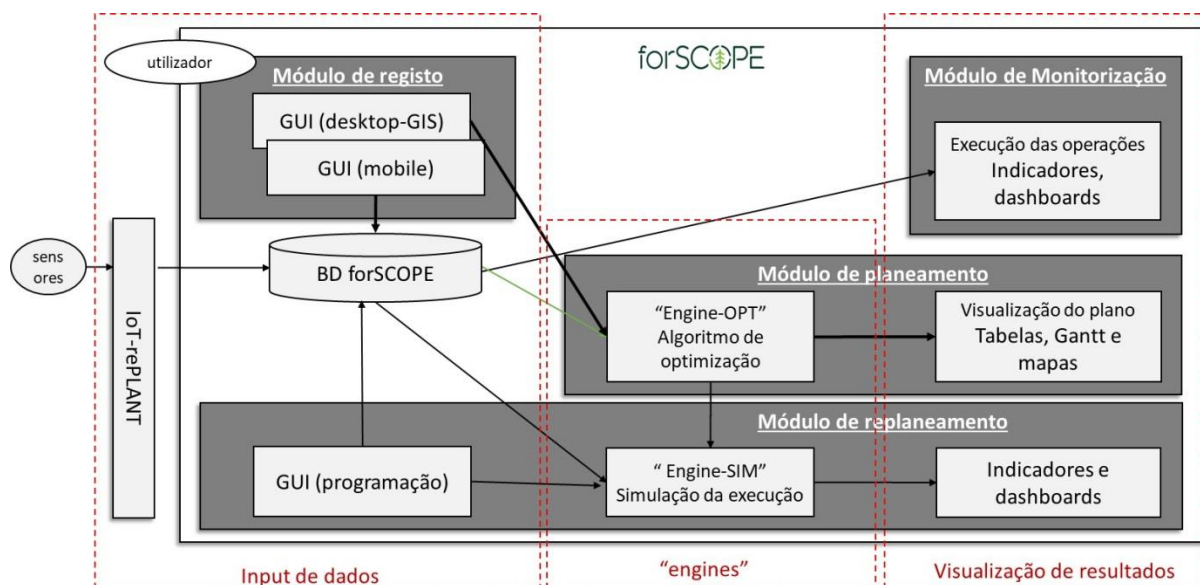
- Opcionalmente, poderá ter uma aplicação “backoffice” para visualização dos dados recolhidos com os vários dispositivos, sob a forma de tabelas e gráficos e mapas georreferenciação.

Pretende-se adquirir um sistema com experiência comprovada em clientes industriais e com garantias de manutenção e escalabilidade da solução. Este sistema deverá ser identificado após uma análise da relação custo-benefício de soluções tecnológicas existentes no mercado. Alguns dos critérios a considerar na análise custo-benefício são:

- custos de aquisição;
 - licenciamento e manutenção;
 - precisão das medições de material providenciada por estas ferramentas,;
 - possibilidade de interoperabilidade com outros sistemas;
 - existência de funcionalidades adicionais (ex. georreferenciação de material);
 - natureza da infraestrutura de suporte do sistema (local, cloud, etc.).
- Algumas das soluções existentes no mercado que poderão ser testadas são: Trestima / Trestima Stack, Logvision, Logsize, Timbeter, IFOVEA, AFORS.

5.3. Requisitos do sistema de monitorização e apoio ao planeamento da exploração florestal

- O sistema deverá ter uma arquitetura modular e funcionar em ambiente Web e em App. Móvel. O sistema terá por base o protótipo de investigação ForSCOPE. Alguns dos módulos já se encontram desenvolvidos e outros serão especificados e desenvolvidos no âmbito deste projeto. A arquitetura geral é a seguinte:



O módulo de monitorização deve permitir a visualização dos dados recolhidos no terreno relativos à execução das operações de exploração florestal, disponibilizados pelo sistema de IoT, bem como dados diretamente inseridos pelos utilizadores no sistema através do módulo de registo.

O módulo de registo deve permitir a inserção de dados relevantes para o planeamento e para a execução das operações de exploração florestal, complementares aos dados IoT.

O módulo de planeamento, deve permitir fazer um plano otimizado de afetação de equipas a equipamentos a frentes de trabalho, atendendo à produtividade dos equipamentos, e também definir datas de início e fim e custos previstos das operações por frente de trabalho.

O módulo de replaneamento, deve permitir estimar qual será o grau de execução das operações no terreno e os desvios face ao plano (do módulo de planeamento) ou programação (de objetivos e calendários) definido pelo utilizador.

- O sistema deverá permitir vários tipos de utilizadores e perfis.
 - Os tipos de utilizadores principais são:
 - Gestor: pode ver informação de vários operadores
 - Operador: só pode ver a informação que insere ou do equipamento que está a usar.
 - Os tipos de perfis principais são:
 - Prestador de serviços: quem efetua as operações de corte e recarga
 - Transportador: quem efetua as operações de transporte
 - Indústria/empresa florestal: quem vai rececionar a madeira, tipicamente é o dono da obra
 - Proprietário/gestor florestal: quem é o dono da madeira

Requisitos funcionais principais para o módulo de monitorização:

- Deve permitir que os dados recolhidos sejam transmitidos aos vários tipos de utilizadores ao longo da cadeia logística e apresentados num formato adequado ao tipo de utilizador.
- Deve calcular indicadores de acompanhamento da exploração florestal, conforme descrito na secção 4.1.
- A exibição destes indicadores será efetuada através de uma interface gráfica de utilizador que siga as melhores práticas ao nível da conceção e design de “painéis de gestão” (dashboards) com tabelas, gráficos e mapas georreferenciados.
- Alguns exemplos de mapas relevantes por tipo de utilizador:

	Prestador de serviços	Transportador	Indústria/empresa florestal	Proprietário/gestor florestal
Mapa de localização de equipamentos e equipas (atual e histórico)	x			
Mapa de consumos dos equipamentos, em cada zona da frente de trabalho)	x			
mapa de cortes (i.e. volume cortado em cada zona da frente de trabalho)			x	X
Mapa de produtividades (por equipamento, em cada zona da frente de trabalho)	x		x	
Mapa das pilhas (localização e quantidade atual)	x	x	x	

Requisitos funcionais principais para o módulo de registo:

- Deve incluir interfaces gráficas (GUI) para inserção de dados relativos aos pontos de interesse (p.e. frentes de trabalho, pilhas, centros de consumos, parques intermédios, equipas/equipamentos, pilhas).
- Deve permitir a inserção de novas entidades através do seu posicionamento sobre o mapa georeferenciado.
- Deve permitir a visualização dos pontos de interesse num mapa devidamente identificados e em tabelas com os seus detalhes,

Requisitos funcionais principais para o módulo de planeamento:

- Deve permitir a criação de cenários de planeamento, através da seleção dos dados que irão ser alvo do plano.
- Deve incluir um algoritmo de otimização que sugere um plano de exploração florestal, incluindo: a) a data de início, fim e duração das operações de exploração florestal nas várias frentes de trabalho; b) a efetivação dos equipamentos e equipas às frentes de trabalho; atendendo à sua disponibilidade e produtividade, de forma a minimizar os custos operacionais e logísticos. Poderá ainda ajudar a dimensionar a frota de transporte e fazer estimativas dos respetivos consumos e custos.
- Deve permitir a visualização do plano detalhado usando filtros, e com recurso a tabelas, mapas georeferenciados e um diagrama de gantt.

Requisitos funcionais principais para o módulo de replaneamento:

- Deve incluir um algoritmo de simulação para estimar o grau de execução atual das operações no terreno, consolidando os dados históricos de execução e tendo como base de referência o plano (do módulo de planeamento) ou programação (de objetivos e calendários) definido pelo utilizador.
- Deve disponibilizar o grau de execução atual das operações através de uma lógica simples de semáforo: verde se dentro do plano; amarelo, se se verificarem atrasos; vermelho se o plano/programação não estiver a ser cumprida.
- No caso de a base de referência ser o plano otimizado, deve permitir desencadear novas atualizações ao plano, caso existam desvios significativos das operações relativamente ao planeado. Este replaneamento poderá ter em consideração a manutenção do objetivo base (minimização dos custos operacionais) ou a minimização das alterações ao plano.

5.4. Requisitos da plataforma de interoperabilidade IoT REPLANT

- O sistema deve permitir definir o dono dos dados, que por seu lado, deverá definir os acessos permitidos aos outros utilizadores (consulta, edição).
- Os dados deverão ser estruturados de acordo com o standard StandForD2010.
- O protocolo de comunicação de dados deve ser o mqtt (Message Queue Telemetry Transport). Este protocolo é amplamente utilizado para estabelecer a comunicação entre máquinas em especial em pequenos dispositivos móveis da Internet das Coisas (IoT).
- Devem adotar-se boas práticas para envio dos ficheiros, procurando minimizar o volume dos ficheiros transacionados e também, garantindo séries completas na base de dados do IoT mesmo em situações de falhas na cobertura da rede.

6. Cenários de demonstração

Os cenários de demonstração desta atividade têm como objetivo permitir testar o funcionamento do protótipo de solução integrada para a exploração florestal em áreas piloto onde esteja a decorrer operações de exploração florestal com as máquinas de corte e recheia intervencionadas neste estudo.

A demonstração irá ocorrer no primeiro semestre de 2023 e incluirá várias visitas de campo com entidades chave, parceiras do projeto e outras. Os povoamentos a corte nessa data não estão ainda identificadas à data de fecho deste relatório, por isso não é possível identificar as áreas piloto. No entanto, identificam-se desde logo alguns requisitos para a identificação e escolha das áreas piloto para a atividade A3.1.:

Requisitos obrigatórios:

- Povoamento florestal de eucalipto onde esteja a ocorrer a exploração florestal
- Recursos a máquinas de corte e recheia intervencionadas neste estudo
- Disponibilidade dos prestadores de serviços e empresas florestais para testar as soluções
- Facilidade de acessos (para as visitas de campo)

Requisitos preferenciais, que podem facilitar a organização das visitas de campo:

- Proximidade a área piloto da atividade A3.2. onde será testada a nova alfaia para plantação
- Proximidade a áreas piloto da atividade A2.1. e A2.2. onde serão testadas as soluções de proteção de infraestruturas críticas em espaço florestal.
- Povoamentos de pinheiro-bravo que estejam a ser considerados na área piloto do PPS1.

A esta data, as regiões que correspondem aos requisitos obrigatórios são: Serras do Porto, no Norte do país e Nisa-Fratel no Sul do país (a confirmar). Nestas regiões, serão selecionados povoamentos de eucalipto sob gestão da The Navigator Company e Altri.

7. Referências bibliográficas

- Abreu, AD; Ribeiro, RN; Lana, JAS (2019). Aplicação dos conceitos de Floresta 4.0 com a utilização de projeto de telemetria nas atividades de colheita florestal da CENIBRA. Conferência COBISA, Brasil, Maio 2019
- Billingsley J., Visala A., Dunn M. (2008) Robotics in Agriculture and Forestry. In: Siciliano B., Khatib O. (eds) Springer Handbook of Robotics. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30301-5_47
- Ismoilov, A. (2016). Suspended forestry machines for sustainable forestry. Doctoral thesis in Machine Design Stockholm, Sweden, 2016.
- IDEAlliance. 2003. Papinet. Global Transaction Standards for the Paper Industry Implementation Guide. www.papinet.org
- Marchi E. Chung W., Visser R., Abbas D., Nordfjell T., Mederski P.S., McEwan A., Brink M., Laschi A (2018), Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate, Science of The Total Environment Vol 634, pp 1385-1397
- Marques A.F., Borges J.G., Sousa P. and Pinho A. (2011). An enterprise architecture approach to forest management support systems design. An application to pulpwood supply management in Portugal. European Journal of Forest Research 130 (6): 935-948.
- Milliken P., Lamborn D., and Keast A. (2015). Concept Design for Teleoperation of a John Deere 909 Feller Buncher. <https://fgr.nz/documents/download/3717>
- Moskal, L. M., Erdody, T., Kato, A., Richardson, J., Zheng, G., & Briggs, D. (2009). Lidar Applications in Precision Forestry Precision Forestry Cooperative and Remote Sensing and Geospatial Analysis Precision Forestry Cooperative and Stand Management Cooperative , University of. *SilviLaser2009*, 154–163.
http://www.academia.edu/download/30843890/Moskaletal_Silvilaser2009.pdf%0Ahttp://silvilaser.tamu.edu/
- Kováčsová, P., & Antalová, M. (2010). Precision forestry-definition and technologies. Sumarski List, 134(11–12), 603–611
- Parker R., Bayne B., Clinton P. (2016). Robotics in forestry NZ Journal of Forestry, February 2016, Vol. 60, No. 4
- Scholz J, Marques AF, De Meyer A., Pinho T, Boaventura-Cunha J, Van Orshoven J, Rosset C, Künzi J, Kaarle J, and Nummila K. (2018). Digital technologies for Forest Supply Chain Optimization: existing solutions and future trends. Environmental Management Vol 62, N. 6, pp. 1108–1133. DOI: 10.1007/s00267-018-1095-5
- Schweier, J., Magagnotti, N., Labelle, E.R. et al. Sustainability Impact Assessment of Forest Operations: a Review. Curr Forestry Rep 5, 101–113 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40725-019-00091-6>
- Soares, R., Marques, A., Gomes, R., Guardão, L., Hernández, E., & Rebelo, R. (2019). Exploring the Linkages Between the Internet of Things and Planning and Control Systems in Industrial Applications. Em Lecture Notes in Mechanical Engineering (pp. 65–72). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29041-2_8
- Gunnar Svenson & Dag Fjeld (2016) The impact of road geometry and surface roughness on fuel consumption of logging trucks, Scandinavian Journal of Forest Research, 31:5, 526-536, DOI: 10.1080/02827581.2015.1092574

Gunnar Svenson & Dag Fjeld (2017) The impact of road geometry, surface roughness and truck weight on operating speed of logging trucks, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32:6, 515-527, DOI: 10.1080/02827581.2016.1259426

Palonen, T, Hyyi H, Visala A (2017). Augmented Reality in Forest Machine Cabin. *IFAC PapersOnline* 50-1: 5410-5417 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317315616>

Peedosaar (2019). A narrative of virtual and augmented reality in the forest sector. *Forestry Studies*. <https://www.researchgate.net/publication/337274278>

Ponsse. CTL: O corte perfeito (2020). <https://pim.ponsse.com/media/ponsse-pim-api/api/content/getfile/16439233.pdf>

Zachman J, (1997). *Enterprise Architecture: The Issue of the Century*, Database Programming and Design. <https://www.zachman.com/resources/zblog/item/the-issue-is-the-enterprise>

Anexo 1. Terminologia adotada no StanForD 2010

Empreiteiro florestal (*Logging organisation*) – Entidade responsável pela exploração florestal, pode ser o proprietário da floresta ou uma empresa prestadora de serviços florestais.

Entrega/Localização (*Delivery/Location*) – A entrega é a forma como os vários produtos devem ser rechegados e empilhados (por exemplo, produto separado, ou combinado com outros comprimentos ou em mistura com outras espécies); Localização é localização geográfica da pilha para onde os volumes são rechegados e carregados num camião de transporte de madeira.

Objecto (*Object*) – Área a corte ou contrato de exploração relacionado com um mesmo proprietário florestal.

Subobjecto (*subobject*) – Povoamento. Também pode ser usado para separar volumes de diferentes classes de corte (desbaste, corte final) no mesmo objeto.

Produto florestal (*product*) – Combinação de variedade de madeira e matriz de preço.

Grupo de espécies (*species group*) - uma ou mais espécies que são geridas em conjunto de acordo com a mesma instrução.

Chave (*Key*) - normalmente um número consecutivo que é definido automaticamente pelo computador da máquina para criar rastreabilidade no sistema.

UserId - Identidade que é definida pelo utilizador de dados, permitindo a identificação de cada máquina, objeto, produto, etc. A combinação de UserIds e Chaves cria rastreabilidade de todas as alterações feitas no sistema da máquina.