

1996
2016



anos

A CRIAR CONHECIMENTO
PARA A BIOECONOMIA DE BASE FLORESTAL

RAIZ

**1996
2016**

20
anos

**A CRIAR CONHECIMENTO
PARA A BIOECONOMIA DE BASE FLORESTAL**

RAIZ

1996
2016

PREFÁCIO

O **RAIZ - Instituto de Investigação da Floresta e Papel** foi criado em 1996 pelas duas principais empresas da fileira silvo-industrial do eucalipto em Portugal, à data, a Portucel e a Soporcel, hoje **The Navigator Company**, tendo como objetivo desenvolver atividade de investigação e prestar serviços especializados no domínio da floresta e dos processos de produção de pasta e papel.

O **RAIZ** é hoje um centro de excelência de nível internacional, caso exemplar de cooperação universidade-empresa, focado no eucalipto e seus produtos industriais, reconhecido como uma entidade do sistema científico e tecnológico Nacional, agregando a **The Navigator Company**, a Universidade de Aveiro, a Universidade de Coimbra e o Instituto Superior de Agronomia / Universidade de Lisboa na sua estrutura associativa. Em estreita colaboração com as universidades suas parceiras e com as empresas, tanto da área florestal como da área industrial, o **RAIZ** gerou conhecimento que contribuiu decisivamente para a afirmação de Portugal como um ator de relevo mundial na bioeconomia de base florestal, na pasta e nos papéis de impressão-escrita derivados da fibra de eucalipto.

Com esta brochura, pretendeu-se assinalar os primeiros 20 anos de atividade do **RAIZ**, elencando, de forma não exaustiva, alguns dos contributos que consideramos ilustrativos do património de conhecimento gerado neste Instituto. Simbolicamente, foram selecionados 20 temas, cobrindo tanto a área florestal como a área tecnológica / industrial. No domínio da floresta foram marcantes os contributos da biotecnologia e melhoramento genético, desenvolvimento de híbridos, fertilidade e nutrição, proteção florestal, floresta e ambiente bem como o apoio à certificação florestal. A nível industrial destacam-se os avanços no conhecimento da química e estrutura da madeira e das fibras na perspetiva do seu desempenho papeleiro, processos de cozimento, de branqueamento e produção de papel, valorização de resíduos e ambiente bem como nas novas aplicações das fibras e componentes da biomassa, numa perspetiva de biorrefinaria.

Os resultados obtidos pelo **RAIZ** e os avanços de conhecimento para os quais contribui, aqui reportados de forma sucinta, só foram possíveis graças ao empenho e dedicação de todos os seus colaboradores e dirigentes, dos técnicos da indústria e dos professores e investigadores da rede de universidades parceiras. A todos, endereçamos um profundo agradecimento.

Para a recolha e organização desta informação que aqui se reporta de forma condensada, foram determinantes os contributos dos Engenheiros Serafim Tavares (que coordenou todo o processo) e José Luís Amaral, anteriores Diretores, coadjuvados por uma vasta equipa de técnicos e investigadores do **RAIZ**. Para os dois em particular, o nosso reconhecimento pela sua dedicação de muitos anos, pela disponibilidade e profunda sabedoria, que sempre souberam partilhar. Bem hajam!



Carlos Pascoal Neto
Diretor Geral do RAIZ

1996
2016

20
anos

A CRIAR CONHECIMENTO
PARA A BIOECONOMIA DE BASE FLORESTAL

20 temas

área florestal

No domínio da floresta foram marcantes os contributos da biotecnologia e melhoramento genético, desenvolvimento de híbridos, fertilidade e nutrição, proteção florestal, floresta e ambiente bem como o apoio à certificação florestal.

área tecnológica/industrial

A nível industrial destacam-se os avanços no conhecimento da química e estrutura da madeira e das fibras na perspetiva do seu desempenho papelero, processos de cozimento, de branqueamento e produção de papel, valorização de resíduos e ambiente bem como nas novas aplicações das fibras e componentes da biomassa, numa perspetiva de biorrefinaria.

ÍNDICE

01 BIOTECNOLOGIA APLICADA AO EUCALIPTO	13
02 MELHORAMENTO GENÉTICO	21
03 DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS.....	29
04 FERTILIDADE DOS SOLOS E NUTRIÇÃO	35
05 INDICADORES E FERRAMENTAS DE APOIO À FERTILIZAÇÃO	43
06 PROTEÇÃO FLORESTAL CONTRA PRAGAS E DOENÇAS.....	49
07 DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO SÍTIO	55
08 APOIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE SUPORTE À	
CERTIFICAÇÃO FLORESTAL	63
09 A FLORESTA PLANTADA DO EUCALIPTO E O AMBIENTE	69
10 CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA	77
11 COZIMENTO DA MADEIRA.....	83
12 BRANQUEAMENTO DA PASTA	91
13 OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFINAÇÃO DE PASTA PARA A	
PRODUÇÃO DE PAPÉIS DE IMPRESSÃO E ESCRITA	99
14 POTENCIAL PAPELEIRO DAS FIBRAS	107
15 INTERAÇÃO TINTA-PAPEL NA IMPRESSÃO JATO DE TINTA	115
16 A INDÚSTRIA DE PASTA E PAPEL E O AMBIENTE	123
17 BIORREFINARIA NA INDÚSTRIA DE PASTA <i>KRAFT</i>.....	129
18 COMPOSTOS BIOATIVOS DA MADEIRA E BIOMASSA	137
19 NOVAS APLICAÇÕES DAS FIBRAS CELULÓSICAS:	
COMPÓSITOS E NANOFIBRAS	143
20 VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PROCESSO DE	
PRODUÇÃO DE PASTA E PAPEL.....	153
PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS.....	161

01

**BIOTECNOLOGIA
APLICADA
AO EUCALIPTO**

01 BIOTECNOLOGIA APLICADA AO EUCALIPTO

A biotecnologia pode ser definida como a aplicação de métodos tecnológicos a estruturas biológicas. No **RAIZ**, a biotecnologia tem sido desenvolvida na perspetiva de implementar ferramentas de apoio ao Programa de Melhoramento Genético e Produção de Plantas. Destacam-se as seguintes aplicações desenvolvidas:

- Avaliação da origem e diversidade do *E. globulus* existente em Portugal: demonstrando a oportunidade de se ampliar a representatividade de raças nativas de *E. globulus* na População de Melhoramento Genético do **RAIZ** e permitindo informar a seleção de materiais a introduzir;
- Quantificação da similaridade genética: permitindo identificar grupos de clones potencialmente aparentados e evitar a consanguinidade a nível do melhoramento e produção clonal operacional;
- Certificação da identidade clonal: controlando a identidade dos clones de eucalipto desde os ensaios de campo, até às plantas fornecidas para propagação em larga escala;
- Avaliação da qualidade da semente melhorada: possibilitando, num pomar de sementes de polinização aberta, estimar a percentagem de semente resultante de autopolinização e a contaminação de pólen exterior ao pomar;
- Produção de clones via macro e micropropagação: permitindo melhorar o processo de produção operacional de clones.

01 BIOTECNOLOGIA APLICADA AO EUCALIPTO

origem e diversidade do *E. globulus*

As primeiras plantações de *E. globulus* em Portugal remontam ao início do século XIX, resultando na criação de uma “raça local” de origem desconhecida. Uma vez que o Programa de Melhoramento Genético de *E. globulus* do **RAIZ** contém uma seleção destes indivíduos, desde que começou a utilizar marcadores moleculares em 1994, procurou-se conhecer a origem destes materiais e a sua diversidade. Em 2007, o **RAIZ** em colaboração com um grupo da Universidade da Tasmânia, verificou que a maioria dos indivíduos portugueses tinha origem no sudoeste da Tasmânia e alguns no sudoeste de Victoria. Entre 2012 e 2013 genotiparam-se (com Microsatélites/SSR-*Simple Sequence Repeats*) 398 indivíduos (de 16 populações) representativos da diversidade natural de *E. globulus*, na Austrália. Verificou-se que as 16 populações são diversas e encontram-se bem diferenciadas entre si. Detetaram-se nove *clusters* populacionais/raças, e um *subcluster* (Figura 1). Nos indivíduos da população portuguesa em estudo detetou-se a presença de três “raças” australianas (das regiões de *Furneaux/* a amarelo, SE e S Tasmânia/a laranja e *Recherche Bay/* a azul escuro), sendo que a maioria dos indivíduos tem origem no SE e S Tasmânia. Estes resultados demonstraram a oportunidade de se ampliar a representatividade de raças nativas de *E. globulus* na População de Melhoramento Genético do **RAIZ**, permitindo informar a seleção de materiais a introduzir.



Figura 1.

Distribuição das 16 populações australianas analisadas.

Cada ponto corresponde à amostragem de 1-5 indivíduos, agrupados em 16 regiões australianas. A estrutura populacional detetada é representada por cores (cada cor é uma raça genética):

Laranja: Dromedary, NE SE e S Tasmânia; **Amarelo:** Furneaux e Norte de NE Tasmânia;

Rosa: King Island e W Tasmânia; **Verde-escuro:** E e W Otways; **Azul claro:** Tidal River;

Roxo: Wilson's Promontory;

Cinzentos: Port Davey;

Vermelho: Phillip Island, S Gippsland e Strzelecki Ranges;

Verde-claro: S Maria Island (Costa et al 2017).

similaridade genética

A diversidade e/ou variabilidade genética decrescem com a progressão dos programas de melhoramento genético. A diminuição da diversidade genética pode limitar a realização de ganhos genéticos e ameaçar a sustentabilidade das florestas, num contexto de alterações ambientais. A utilização de marcadores moleculares (DNA) permite estimar os níveis de diversidade e variabilidade genética de uma população, assim como determinar relações de similaridade genética entre indivíduos de *pedigree* desconhecido, sendo esta tanto maior quanto mais estreito é o grau de parentesco entre os indivíduos. Entre 2002 e 2004, o **RAIZ** estabeleceu um protocolo para avaliação da Similaridade Genética com Microssatélites. A partir desta data foi estimada periodicamente a Similaridade Genética do grupo de clones da pré-recomendação e recomendação clonal do **RAIZ**. Este trabalho permite identificar grupos de clones potencialmente aparentados e evitar a consanguinidade a nível do melhoramento e produção clonal operacional.

identidade clonal

Erros de identificação clonal na etiquetagem das plantas no campo e/ou viveiro eram relativamente frequentes com impacto económico ao nível da floresta clonal. É por isso importante garantir a identidade dos materiais nos ensaios e dos clones melhorados que são utilizados para subsequente multiplicação. Foi desenvolvido e otimizado um protocolo de Certificação da Identidade Clonal através da identificação do DNA de cada indivíduo com Microsatélites, em colaboração com o INRA (*Institut National de la Recherche Agronomique, Orléans*). Todos os clones elite do programa de Melhoramento Genético do RAIZ têm o seu perfil molecular caracterizado. A sua identidade é controlada desde os ensaios de campo usados para estimar o seu valor, até às plantas fornecidas aos Viveiros Aliança para propagação em larga escala. Esta ferramenta tem sido também utilizada para verificar a identidade de clones em ensaios de I&D, nos viveiros operacionais e nas parcelas de inventário e cubagem rigorosa, constituindo ainda uma evidência que pode ser utilizada para defender a propriedade dos materiais desenvolvidos (direitos do obtentor).

qualidade da semente melhorada

A propagação de *E. globulus* por via seminal é uma alternativa à via clonal. Para produzir semente geneticamente melhorada, em quantidades operacionais, é necessário o recurso a pomares de semente. Em 2008, o RAIZ instalou um Pomar de Sementes clonal de *E. globulus*, em Espirra. Este pomar tem sido gerido num regime de polinização aberta originando uma percentagem de semente resultante de autopolinização e a possibilidade de contaminação de pólen exterior ao pomar. Esta situação impacta a produção de semente, o sucesso da germinação, o crescimento e a sobrevivência. Para garantir a qualidade da semente produzida, o RAIZ tem efetuado um conjunto de testes. Em geral a taxa média de germinação da semente tem sido elevada (84% na campanha de floração 2013/14 e 79% em 2014/15). Toda a semente germinada nos testes é genotipada, comparando o perfil genético da semente com o da árvore dadora e identificando sempre que possível o outro progenitor. Com estes dados é calculada a taxa de autopolinização: estimada em 6% na campanha de 2013/14 e 12% em 2014/15. É também calculada a taxa de contaminação por pólen exterior ao pomar: estimada em 4.5% em 2013/14 e 6.1% em 2014/15. Com a aplicação ulterior de medidas intensivas de gestão do

pomar, como a instalação de agentes polinizadores e a realização de desbastes, espera-se conseguir reduzir estes valores.

clonagem de indivíduos

A micropropagação é uma técnica de cultura *in vitro* desenvolvida para propagação clonal. Entre outras aplicações, o **RAIZ** tem utilizado esta técnica para rejuvenescer os pés-mãe para macroestacaria, permitindo também o resgate não destrutivo de genótipos interessantes, para clonagem e teste de campo (Figura 2).



Figura 2.

Aspetos relativos à atividade de resgate, rejuvenescimento via micropropagação e instalação de parques de pés-mães operacionais.

A macropropagação mantém-se como o método operacional para propagar material clonal de *E. globulus* ao nível comercial, apesar do sucesso irregular (o enraizamento depende fortemente do indivíduo e do “ambiente”). No sentido de desenvolver soluções para melhorar a produção operacional de plantas clonais em termos da qualidade da planta, ajustar as condições às necessidades específicas dos diferentes clones, otimizar a produção e as questões ambientais, o **RAIZ** iniciou em 2010 uma linha de investigação dedicada à propagação. Mais recentemente tem-se desenvolvido trabalho em miniestacaria de eucalipto.

02

**MELHORAMENTO
GENÉTICO**

02 MELHORAMENTO GENÉTICO

O melhoramento genético possibilita a criação de florestas plantadas mais produtivas bem como, melhor adaptadas, o que permite a sua utilização em condições edafoclimáticas menos favoráveis e uma maior resiliência a alterações climáticas. Além disso, permite aumentar a qualidade da matéria-prima obtida destas florestas através do desenvolvimento de plantas com madeira de características tecnológicas superiores. O desenvolvimento genético feito pelo **RAIZ** com a espécie *Eucalyptus globulus* permitiu:

- Aumentar a produtividade da floresta plantada de eucalipto: com melhor crescimento das árvores e redução da mortalidade, expresso em metros cúbicos produzidos por hectare e ano;
- Aumentar a rentabilidade das operações incluindo a atividade industrial, procurando obter madeira com maior rendimento de transformação, por maior densidade e maior rendimento do cozimento. Estas características têm também como consequência o menor custo de exploração florestal e transporte da madeira até à fábrica por unidade de produto transformado.



02 MELHORAMENTO GENÉTICO

o programa de melhoramento genético do RAIZ

O programa do **RAIZ** resultou da junção de dois programas independentes criados em meados dos anos 1980 pela SOPORCEL e PORTUCEL e contou com um total de cerca de 910 fundadores, que constituiu a geração zero de melhoramento, designadamente:

- Cerca de 560 árvores-*plus* provenientes das seleções da SOPORCEL e PORTUCEL, que foram selecionadas em matas nacionais, sendo a sua origem desconhecida;
- Cerca de 350 famílias de origem australiana oriundas de semente recolhida em 350 mães na Austrália e testadas em testes de procedência.

O programa de melhoramento do **RAIZ** para *E. globulus* está, à data, na sua terceira geração. Para aqui chegar, o programa aplicou uma sequência de atividades de teste, análise, seleção e cruzamentos, ao longo do tempo, e que se podem descrever sinteticamente da forma seguinte:

1. Instalação e medição de ensaios de campo: até 2015 os dados de medições de crescimento e qualidade da madeira tinham sido recolhidos em 166 ensaios de campo, cobrindo as várias condições de solo e clima do país. No total destes ensaios, testaram-se 37,575 indivíduos, dos quais 459 são fundadores, cerca de 30,000 são seus filhos (ou seja, a primeira geração), cerca de 3,000 são seus netos (ou seja, de segunda geração) e cerca de 300 são de terceira geração (com pais e alguns avós e bisavós conhecidos).
2. Realização de uma análise estatística que permita integrar toda a informação proveniente dos diferentes tratamentos, ensaios e idades, de modo a minimizar a variabilidade edafoclimática e permitir uma correta comparação entre clones e famílias, e para as variáveis consideradas chave. Este é um dos elementos mais críticos do programa pois dele vai depender a correta tomada de decisões de seleção. O **RAIZ** tem vindo a desenvolver e implementar uma análise estatística chamada de BLUP (*Best*

Linear Unbiased Prediction). O objetivo primário desta análise é estimar o mérito genético de todas as árvores, e para as quatro variáveis chave: crescimento e sobrevivência nas duas regiões em que se classificou o país (Região de Melhoramento 1 e Região de Melhoramento 2), densidade da madeira e rendimento em pasta. Em 2014, o número de medições de altura era de 73000, para DAP de 82000, para sobrevivência de 109000, para densidade de 48000 e rendimento (5300). No programa do **RAIZ**, a precisão é em geral muito alta, incerteza inferior a 2%, especialmente para os clones da recomendação, já que a quantidade de informação recolhida para cada um é considerável: um mínimo de 6 ensaios com várias dezenas de árvores por clone com medições aos 6 anos de idade. A análise BLUP, depois de ser corrigida para efeitos de competição entre árvores que se verifica nos ensaios (cerca de 25%), corresponde aos ganhos que se esperam obter em exploração comercial com a utilização dos clones.

3. Proceder à seleção dos progenitores que irão fundar a próxima geração de melhoramento, e dos clones que irão renovar a recomendação para os viveiros. Isso foi feito com base num índice que pondera o mérito genético de cada clone em produtividade e qualidade da madeira. Para além disso, no caso dos clones, há que assegurar que os clones eleitos tenham uma taxa de enraizamento suficientemente alta para que a sua produção comercial, em viveiro, seja viável.

4. Proceder à atualização da Recomendação Clonal. Os novos clones a recomendar terão de estar suficientemente testados, incluindo o seu comportamento em povoamentos piloto e ensaios de campo, antes de serem recomendados.

resultados e consequências do programa de melhoramento genético

Observou-se que o mérito genético tem vindo a aumentar de modo linear e sustentado (Figura 1). Os ganhos genéticos nas famílias de terceira geração correspondem a um aumento da contribuição de 20-25€ por tonelada de pasta produzida. A prazo, os futuros clones da recomendação irão ser selecionados dentro destas famílias.

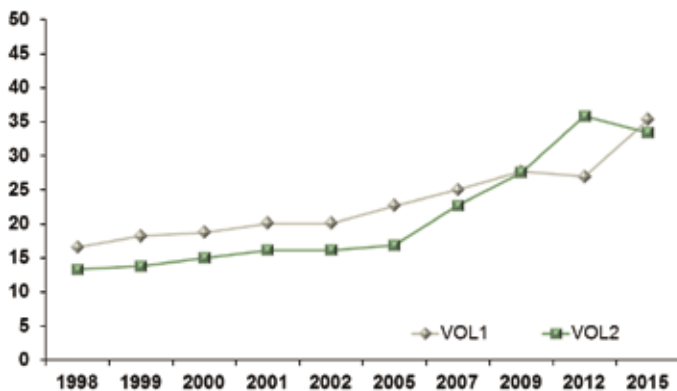


Figura 1. Evolução do mérito genético da Recomendação Clonal, expressa em ganhos em volume por hectare (em % da floresta não melhorada), para a RM1 (VOL1) e para a RM2 (VOL2).

Uma consequência do processo de melhoramento é que ocorre sempre uma redução da diversidade genética relativamente à população inicial. Neste sentido, o **RAIZ** que tem vindo a monitorizar a diversidade existente no seu programa, designadamente através da variância nas variáveis chave em cada geração de melhoramento (Figura 2) ou de indicadores medidos por marcadores moleculares neutros. O **RAIZ** tem assegurado que não se corram riscos bióticos ou abióticos excessivos associados a uma floresta clonal por insuficiente diversidade genética dos clones instalados numa mesma região geográfica. A Figura 2 ilustra que houve apenas uma ligeira redução do coeficiente de variação dentro das famílias, da segunda (CVG2) para a terceira geração (CVG8). No que respeita à manutenção da diversidade entre clones da recomendação, medida indiretamente pelo grau de parentesco dado por marcadores moleculares entre pares de árvores, mostrou que as recomendações de 1999, 2002, 2009 e 2015 apresentam valores praticamente de zero, ou seja indicam que os clones da recomendação não estão mais “aparentados” entre si que quaisquer outras árvores da população base.

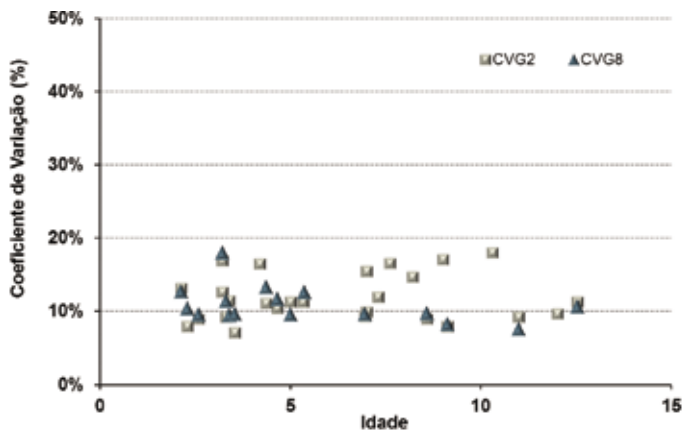


Figura 2. Valores de coeficiente de variação observados dentro das famílias de segunda geração (CVG2) e de terceira geração (CVG8), para crescimento em altura às diferentes idades de medição.

As novas populações criadas no programa de melhoramento, por cruzamentos controlados que foram sendo realizados entre os melhores progenitores de cada geração, permitem que o programa possa avançar ao longo do tempo. Podemos antecipar o potencial dos novos materiais que se podem vir a desenvolver, olhando para o mérito das melhores famílias em teste atualmente. Assim, as melhores 29 e 17 famílias para a RM1 e RM2, respetivamente, e que incluem 139 e 215 clones candidatos, apresentam valores de mérito genético médio de 45% em ton de pasta/ha. Sendo os clones a selecionar dentro de cada uma destas famílias significativamente melhores que a média, poderemos esperar que os ganhos serão de 60-70% acima da semente comercial, vindo a constituir uma melhoria muito significativa relativamente ao valor da atual recomendação.

03

**DESENVOLVIMENTO
DE HÍBRIDOS**

03 DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS

O melhoramento genético do **RAIZ** está focado no *Eucalyptus globulus* face à sua adaptabilidade à maior parte das condições ecológicas do País e à qualidade superior da sua madeira para a produção de pasta e papel. No entanto, o **RAIZ** procurou o desenvolvimento de híbridos do eucalipto para situações desfavoráveis para o *E. globulus*, destacando-se os seguintes resultados:

- Regiões do sul do país com défice hídrico excessivo para *E. globulus*, que inviabiliza a utilização desta espécie, e em que os híbridos desenvolvidos têm a robustez necessária para serem produtivos;
- Regiões montanhosas do centro e norte do país em que as florestas plantadas de *E. globulus* estão muito afetadas pela praga provocada pelo inseto desfolhador, gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis*) e onde alguns híbridos desenvolvidos apresentam tolerância à praga que lhes permite serem produtivos.



03 DESENVOLVIMENTO DE HÍBRIDOS

o programa de híbridos do eucalipto do RAIZ

O programa de melhoramento genético do **RAIZ** tem-se concentrado no *Eucalyptus globulus*, pois é a espécie de eucalipto melhor adaptada à maioria das condições ecológicas do país, que apresenta uma qualidade de madeira superior para a produção de pasta e uma biometria das fibras que determina uma excelente aptidão papelreira da pasta. No entanto, paralelamente ao esforço de melhoramento do *E. globulus* foi criado, ainda antes dos trabalhos do **RAIZ**, um conjunto de híbridos, resultado de cruzamentos entre diferentes espécies de eucalipto. Posteriormente, o **RAIZ** testou estes híbridos e iniciou um programa de teste e avaliação da sua qualidade de madeira, que começou como um projeto menor, mas que mereceu uma expansão considerável nos últimos 7 anos. Os clones híbridos têm vindo a ser incluídos na recomendação clonal para produção operacional desde 2012.

O objetivo do desenvolvimento de híbridos é, por um lado, o de encontrar alternativas ao *E. globulus* para regiões com excessivo défice hídrico onde a espécie não apresenta viabilidade económica devido a uma alta mortalidade e a um crescimento abaixo do limiar de rentabilidade. Por outro, encontrar soluções para pragas de elevado impacto económico no *E. globulus*, com destaque para o *Gonipterus*.

O conjunto dos híbridos em teste no programa do **RAIZ** inclui um total de 273 clones provenientes de 17 espécies diferentes, muitas delas quase desconhecidas e cujo potencial de adaptação e qualidade de madeira têm de ser verificados. Muitos dos híbridos têm o *E. globulus* como uma das espécies envolvidas (cerca de 70 dos 273 clones são híbridos de *E. globulus*), de modo a que a superior qualidade de madeira da espécie esteja o mais possível presente nestes materiais. Vários híbridos têm sido usados operacionalmente.

O programa de híbridos tem uma lógica diferente do programa de melhoramento do *E. globulus* pretendendo identificar no curto prazo, clones que ultrapassem os constrangimentos como a resistência ao stress hídrico, a resistência a pragas ou geadas. A seleção é feita com base em objetivos de crescimento e sobrevivência em condições adversas e, num

segundo nível, às características tecnológicas da madeira (densidade e rendimento de cozimento *kraft*) que possam influenciar a rentabilidade da transformação industrial.

resultados do programa de híbridos do eucalipto do RAIZ

Dada a superior qualidade da madeira de *E. globulus* para a transformação em pasta, dificilmente se encontrarão híbridos com uma qualidade equivalente, mas o objetivo é o de alcançar uma rentabilidade global mais interessante através de melhores taxas de sobrevivência e crescimento nas condições adversas consideradas. Na Figura 1 apresenta-se uma comparação do consumo específico volumétrico de madeira para vários híbridos já desenvolvidos e o *E. globulus*. Para além da densidade e do rendimento de cozimento *Kraft* que impactam na rentabilidade de transformação da madeira em pasta, a qualidade da madeira dos híbridos é também estudada no que diz respeito às características biométricas das fibras que influenciam as propriedades de aptidão papelreira da pasta.

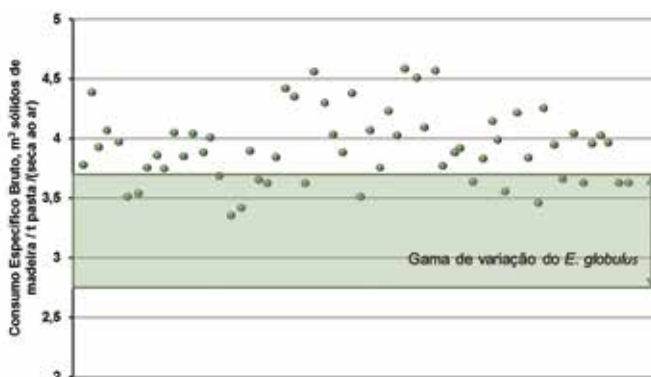


Figura 1. Consumo específico bruto de madeira (sem consideração das perdas de fibra no processo industrial) para os híbridos desenvolvidos e o *E. globulus*.

Um exemplo do diferencial que determinados híbridos podem demonstrar é ilustrado na Figura 2, para um ensaio de elevado défice hídrico na região do Crato/Nisa. Foram testados 28 materiais genéticos, incluindo vários clones de *E. globulus* e de híbridos interespecíficos e um lote de planta seminal. Em 2015, o ensaio encontrava-se fortemente atacado por foracanta, com uma mortalidade global de 45%. Os melhores quatro clones que mostravam uma sobrevivência perto de 100% e maior volume por hectare eram todos híbridos (Figura 2).

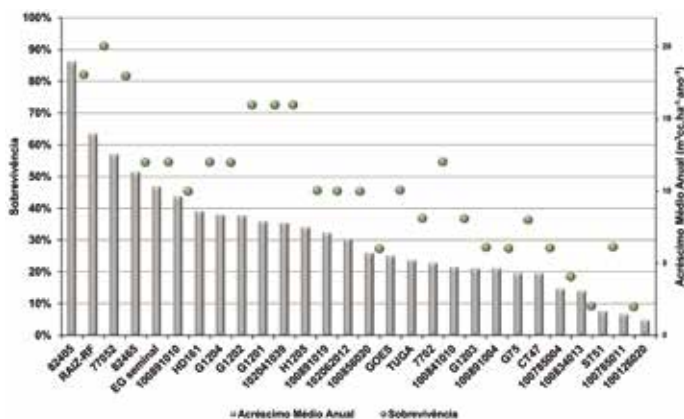


Figura 2.

Resultados preliminares (aos 4 anos de idade) de acréscimo médio anual (m³cc.ha⁻¹.ano⁻¹) e sobrevivência (%) para diferentes materiais genéticos de eucalipto, num ensaio de suscetibilidade à foracanta situado no Crato, com base em 10 plantas iniciais por material, com delineamento *one tree plot* em blocos completos aleatórios; novembro de 2015.

04

**FERTILIDADE DOS SOLOS
E NUTRIÇÃO**

04 FERTILIDADE DOS SOLOS E NUTRIÇÃO

Conhecer a fertilidade dos solos e a nutrição das plantações de eucalipto ao longo do seu ciclo de crescimento é um aspeto determinante para se poder compreender e, assim, promover a sua produtividade. Nesse sentido, o **RAIZ** desenvolveu atividades de I&D nesta temática gerando conhecimento sobre:

- A disponibilidade de nutrientes nas principais tipologias de solo florestal, de acordo com critérios objetivos de fertilidade e nutrição do eucalipto;
- As necessidades nutricionais de *E. globulus*, ao longo do seu ciclo, e as quantidades de nutrientes armazenadas nas várias componentes da sua biomassa;
- As respostas esperadas à fertilização, para os vários nutrientes e situações edafoclimáticas.

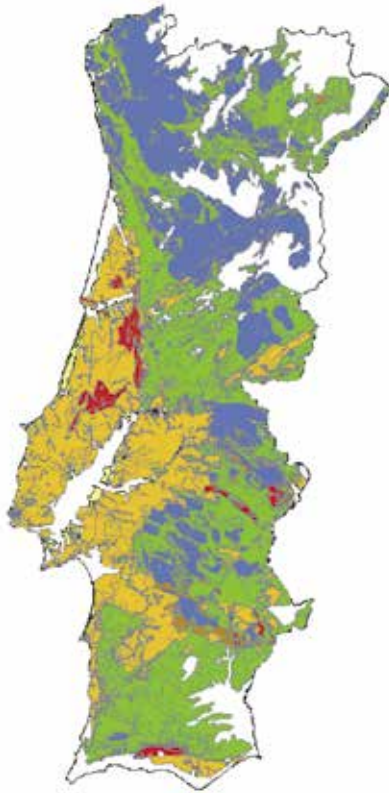


04 FERTILIDADE DOS SOLOS E NUTRIÇÃO

caracterização da fertilidade dos solos

As propriedades do solo com maior relevância para a produtividade do eucalipto são as suas características físicas, designadamente, a profundidade efetiva, pedregosidade, textura e grau de compactação. Estas propriedades físicas só podem ser modificadas parcialmente. Por sua vez, as características químicas, se deficientes, podem ser corrigidas facilmente através da adubação. De entre os parâmetros mais importantes da fertilidade do solo destacam-se o teor de matéria orgânica, e a concentração no solo de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e demais nutrientes essenciais e em formas químicas que sejam facilmente disponíveis para absorção pelas raízes do eucalipto.

Em Portugal, os solos apresentam uma grande variabilidade de características físicas e de fertilidade fazendo variar o potencial para crescimento do eucalipto. O **RAIZ**, entre 2002 e 2015, estabeleceu agrupamentos dos solos em unidades homogêneas, posteriormente desenvolvendo o Sistema LCS (Agrupamentos Litologia x Potencial de Clima x Potencial de Solo) para classificar quanto à produtividade potencial da floresta de *E. globulus*. Aproximadamente 1500 amostras de solo foram intersetadas com a classificação ambiental e de litologia, gerando uma nova caracterização dos valores de fertilidade para os solos do país (Figura 1).



- Areias
- Basaltos e afins
- Calcários e afins
- Granitos e afins
- Metassedimentos
- Sedimentos

Figura 1.

Estratificação do território nacional em diferentes agrupamentos litológicos utilizados para a recomendação de adubação, que tem por base um modelo de interação de variáveis litológicas, de solo e de clima (informação cartográfica).

necessidades nutricionais do eucalipto

As necessidades nutricionais do eucalipto referem-se às quantidades de nutrientes que a cultura precisa para que se atinja uma produção próxima da máxima para uma dada condição edafoclimática. Estas necessidades podem variar entre espécies, ou mesmo entre diferentes genótipos de uma mesma espécie, como resultado das exigências intrínsecas de determinado material e da sua interação com o meio ambiente, podendo também variar com a idade. Estão também ligadas à acumulação de nutrientes na biomassa de um povoamento de eucalipto que depende do total da biomassa produzida e do teor de nutrientes dessa biomassa. O

RAIZ verificou que a biomassa total acumulada é bastante variável entre ambientes edafoclimáticos. Decompondo a biomassa por componente, em termos médios: 74% da biomassa é madeira, 9% casca, 10% ramos e 7% folhas. A concentração de nutrientes varia bastante entre as diferentes componentes de biomassa. Os conteúdos médios de azoto, fósforo e potássio armazenados na madeira (sem casca) são de 41, 62 e 45%, respetivamente. O cálcio está 46% armazenado na casca e apenas 21% na madeira.

O **RAIZ** determinou as curvas de absorção de nutrientes ao longo do ciclo de crescimento do eucalipto. As maiores necessidades nutricionais ocorrem entre os dois e os quatro anos de idade, correspondendo ao período de formação da copa, que inclui folhas e ramos novos, componentes de elevado teor de nutrientes. Após o fecho da copa, ocorre uma maior alocação da biomassa para o tronco, que possui menores teores de nutrientes, diminuindo, deste modo, a necessidade de absorção de mais nutrientes. Além disso, ao longo da rotação, vai havendo maior volume de solo explorado pelas raízes e ficando mais eficazes os mecanismos de reciclagem, isto é, alguns dos nutrientes mais móveis (azoto, fósforo, potássio e magnésio) são redistribuídos no interior da planta - reciclagem bioquímica - e começa a ocorrer a queda e deposição da folhada, com conseqüente mineralização e reabsorção de nutrientes pelas plantas - reciclagem biogeoquímica.

resposta dos povoamentos de eucalipto à fertilização

A fertilização dos povoamentos de eucalipto comporta duas componentes principais:

1. Adubação à instalação corresponde à incorporação de nutrientes durante a instalação dos povoamentos de modo a suprir carências durante o primeiro ano de vida. Estudos do **RAIZ** com adubos de libertação controlada, juntamente com a adubação fosfatada de fundo, mostraram um ganho em volume de 28% aos dois anos de idade. O fósforo, fundamental na formação do sistema radicular, é um dos nutrientes com grande resposta, uma vez que os solos florestais portugueses são genericamente pobres em fósforo, existindo por isso um défice relativamente alto de P no solo para o crescimento inicial do eucalipto (Figura 2).



Figura 2.

Exemplo da resposta do eucalipto à fertilização de instalação em diferentes condições edafoclimáticas de Portugal.

2. Adubação de manutenção, entre o 1.º e o 4.º ano, é o período de formação da copa e, por isso, com grande exigência de nutrientes e com grande resposta à fertilização. Não se exclui no entanto a possibilidade de, em determinados casos, ser preciso realizar também adubações noutros momentos da rotação. Neste período, o azoto é o nutriente que mais parece limitar o crescimento das plantações. Em 2004 e 2009, o **RAIZ** estimou os ganhos volumétricos por efeito da adubação de manutenção que, embora variável, dependendo das condições edafoclimáticas e da idade dos povoamentos parece ser, em média, de cerca de 30%.

05

**INDICADORES E
FERRAMENTAS DE APOIO
À FERTILIZAÇÃO**

05 INDICADORES E FERRAMENTAS DE APOIO À FERTILIZAÇÃO

A decisão sobre a fertilização de povoamentos de eucalipto está relacionada, por um lado, com a produtividade florestal esperada para um dado sítio e, por outro, com a disponibilidade de nutrientes no solo e manta orgânica (manta morta) que poderão ou não assegurar o crescimento das plantas de forma compatível com o potencial do sítio, e satisfazer os requisitos do balanço de nutrientes no sistema solo-planta. Neste contexto, destaca-se o seguinte trabalho que o **RAIZ** desenvolveu:

- Indicadores de diagnóstico da fertilidade do solo e do estado nutricional das plantas de eucalipto;
- Ferramentas para melhorar a gestão nutricional dos povoamentos de eucalipto que permitam determinar, em cada caso, quais as melhores práticas de adubação.



05 INDICADORES E FERRAMENTAS DE APOIO À FERTILIZAÇÃO

indicadores da fertilidade dos solos e do estado nutricional das plantas

O **RAIZ** desenvolveu valores de referência de fertilidade do solo e indicadores de nutrição na planta que permitem informar a gestão sobre o estado de fertilidade dos solos e de nutrição das plantações, para cada um dos principais nutrientes. Estes indicadores permitem fazer o diagnóstico de limitações nutricionais, estabelecer quais as necessidades de adubação e a partir daí desenhar um programa de adubação adequado a cada caso.

A análise química de amostras do solo é a forma usual para calcular os indicadores de avaliação da fertilidade dos solos. No entanto, é necessário assegurar que os métodos de análise química do solo meçam apenas as formas químicas de nutrientes que estão disponíveis para as raízes das plantas. O **RAIZ** desenvolveu por isso um vasto trabalho de validação dos protocolos de análise de solo, selecionando os que melhor se relacionam com o eucalipto. Deste modo, foram definidos pelo **RAIZ** os métodos padrão de análise de solo para fósforo, potássio, cálcio e magnésio. A determinação dos teores de azoto e boro no solo relevaram-se mais complexos, pelo que foram abordados de forma diferente.

O **RAIZ** procedeu à determinação de valores de referência de fertilidade dos solos, níveis críticos, relacionados tanto com a adubação de instalação como a de manutenção. Um nível crítico é a concentração do nutriente no solo necessária para que o crescimento das plantas seja ótimo. Estabeleceram-se diferentes classes de fertilidade do solo, para fósforo, potássio, cálcio e magnésio, especificamente para a cultura do eucalipto, bem como valores de referência para acidez de solo e teores de matéria orgânica (Figura 1). Os micronutrientes, com exceção do boro, não apresentam em geral limitações nos solos em Portugal. Contudo, a sua concentração no solo é tão pequena que a análise de solo não é muito fiável, recorrendo-se alternativamente ao diagnóstico foliar.

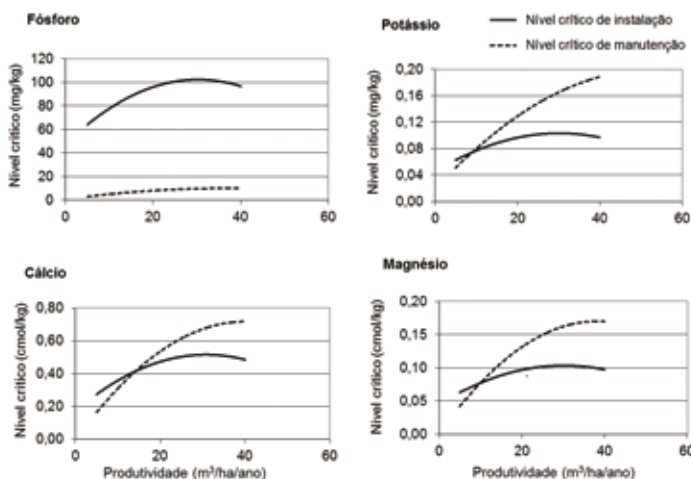


Figura 1. Níveis críticos de P, K, Ca e Mg no solo para a instalação e manutenção de povoamentos de *E. globulus*, em função da produtividade esperada nos diversos solos florestais portugueses. O valor pressupõe uma mesma profundidade efetiva e pedregosidade do solo.

O azoto encontra-se maioritariamente nos primeiros 20 cm de profundidade do solo. Deste, apenas 2-5% está na forma mineral, constituindo a principal fonte de azoto para as plantas. O RAIZ tem utilizado dados de disponibilização de azoto mineral em ambientes mediterrânicos, considerando uma percentagem fixa de 5% de azoto na matéria orgânica e uma taxa de mineralização anual que varia em função da temperatura e humidade, que podem também ser expressos de forma integrada pela acumulação de matéria orgânica no solo nos diferentes ambientes edafoclimáticos. O nível crítico de azoto é depois determinado por balanço de massa em função da necessidade de azoto das plantas, convertendo em teor de matéria orgânica mínimo necessário no solo.

A observação do estado geral da copa e folhas das árvores permite fazer um primeiro diagnóstico sobre eventuais deficiências nutricionais, de forma rápida e em geral eficiente especialmente se forem deficiências severas. Uma avaliação mais precisa necessita de meios auxiliares quantitativos, por análise química foliar. O RAIZ desenvolveu critérios de análise química das folhas como indicadores do estado nutricional das árvores. Assim, foram estabelecidas classes de concentração foliar de nutrientes, entre os quais o boro assume especial relevância, pois a sua deficiência causa elevados prejuízos. O RAIZ, em colaboração com a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), determinou teores ótimos de boro nas folhas entre 25 e 40 mg/kg.

Uma forma alternativa de relacionar o estado nutricional das plantas com o seu crescimento é o conceito de Coeficiente de Utilização Biológica (CUB) dos nutrientes, ou o seu “quociente de utilização”. O CUB pode ser definido como a quantidade de matéria seca produzida, total ou por componente da parte aérea da árvore, por unidade do nutriente imobilizado nessa parte.

Em povoamentos de eucalipto adultos os valores de CUB correlacionam-se melhor com os teores disponíveis de nutrientes no solo do que a concentração foliar.

ferramentas de apoio à gestão do programa de adubações

O **RAIZ** desenvolveu a ferramenta Nutriglobus que estima as necessidades nutricionais das plantas de eucalipto e calcula o respectivo défice nutricional (Figura 2). Este modelo avalia o nível de fertilidade do solo e o volume útil de solo disponível para as plantas com base nos dados de análise de solo, e as necessidades nutricionais ao longo da rotação com base na produtividade esperada. Toma em consideração a dinâmica de ocupação do solo pelas raízes e fatores de eficiência de reciclagem biogeoquímica dos nutrientes. O **RAIZ** desenvolveu também a plataforma Nutrisolver, associada ao programa de recomendação de adubação, que permite encontrar a melhor solução de adubação entre os vários adubos disponíveis no mercado.

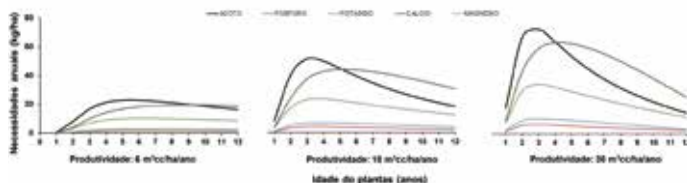


Figura 2. Necessidades anuais de nutrientes estimadas para *E. globulus* para três níveis de produtividade calculadas pelo Nutriglobus.

A utilização do Nutriglobus exige uma análise do solo, para que os teores de nutrientes no solo sejam conhecidos bem como o conhecimento da produtividade potencial desse povoamento. O **RAIZ** desenvolveu o Sistema LCS (Agrupamentos Litologia x Potencial de Clima x Potencial de Solo) de modo a determinar as necessidades de adubo a partir de valores médios de fertilidade para cada uma das classes de solo do Sistema LCS, e da produtividade estimada a partir do mapa das Regiões de Produtividade (RP). Deste modo, é possível obter uma aproximação do balanço de nutrientes em locais para os quais não se dispõe de análises de solo ou inventário florestal prévios. Contudo esta matriz reflete a disponibilidade de nutrientes típica de um solo que não tenha sofrido intervenção significativa no passado, quanto ao historial de adubações ou outros desvios, por excesso ou defeito, acumulados por ação das rotações anteriores. Só a análise de solo permitirá conhecer esses desvios e obter uma estimativa adequada das necessidades de adubação.

06

**PROTEÇÃO FLORESTAL
CONTRA PRAGAS E
DOENÇAS**

06 PROTEÇÃO FLORESTAL CONTRA PRAGAS E DOENÇAS

As pragas e doenças do eucalipto reduzem e, em casos extremos, podem inviabilizar a produção florestal, bem como afetar a produção de plantas em viveiro, aumentando os seus custos ou impossibilitando a sua comercialização. O **RAIZ** foi proativo no desenvolvimento de conhecimento que serve de suporte a ações de proteção florestal de forma a minimizar o impacto dos principais agentes bióticos que afetam os eucaliptos, destacando-se:

- Ações que permitem controlar o fungo responsável pela doença-das-manchas (género *Teratosphaeria*) e a praga provocada pelo inseto perfurador de madeira, foracanta (*Phoracantha semipunctata* e *P. recurva*), reduzindo o seu impacto e as perdas que causam;
- O conhecimento gerado, em conjunto com outras entidades do setor, que permite controlar em grande parte do país a praga provocada pelo inseto desfolhador, gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis*), contudo, este sucesso ainda não foi possível nas regiões montanhosas do centro e norte do país.



06 PROTEÇÃO FLORESTAL CONTRA PRAGAS E DOENÇAS

doença-das-manchas (género *teratosphaeria*)

A doença-das-manchas do eucalipto é causada por espécies de fungos do género *Teratosphaeria* (anteriormente incluídos no género *Mycosphaerella*). Causa necroses e desfolha, especialmente em folhas juvenis, com perda de produtividade que, em casos extremos, pode levar à morte das árvores. Desde o final da década de 1990 tem tido impacto economicamente relevante. Entre 2005 e 2013, o **RAIZ** construiu mapas identificando as áreas mais afetadas, que se localizam nas regiões do litoral centro e norte. A tolerância à doença na espécie *E. globulus* é muito variável, e o **RAIZ** incorpora este aspeto na seleção dos clones para produção operacional desde 2004. Até há poucos anos, a doença-das-manchas era uma das principais doenças dos eucaliptos também em viveiro. Atualmente, a doença não constitui um problema, uma vez que o **RAIZ**, em colaboração com os Viveiros Aliança, identificou ações de controlo eficazes que permitiram eliminar o impacto da doença em viveiro.

foracanta (*phoracantha semipunctata* e *phoracantha recurva*)

Existem duas espécies de *Phoracantha* em Portugal: *P. semipunctata*, a que causa mais estragos e que foi detetada na década de 80, do século passado; e *P. recurva*, encontrada em 2001. Em ambas as espécies, as larvas desenvolvem-se no tronco dos eucaliptos, o que conduz com frequência à morte das árvores. A foracanta ataca árvores debilitadas, em particular devido ao *stress* hídrico, sendo por isso uma praga de regiões quentes e secas do interior e do sul do país.

O **RAIZ** aprofundou, entre 1996 e 2005, a eficácia e os custos dos meios de luta, demonstrando: que os cortes fitossanitários são uma ferramenta eficaz de controlo; e que as armadilhas de toros têm um efeito positivo no aumento do principal inimigo natural da praga (*Avetianella longoi*). O

trabalho do **RAIZ** permitiu, nas áreas suscetíveis a foracanta, ganhos globais superiores a 50%, aumentando a área com potencial de rentabilidade para a espécie. O conhecimento gerado pelo **RAIZ** permitiu também apoiar a tomada de decisão no investimento em novas plantações através do mapa de risco produzido pelo **RAIZ** (Figura 1) e validação realizada pela zonagem.

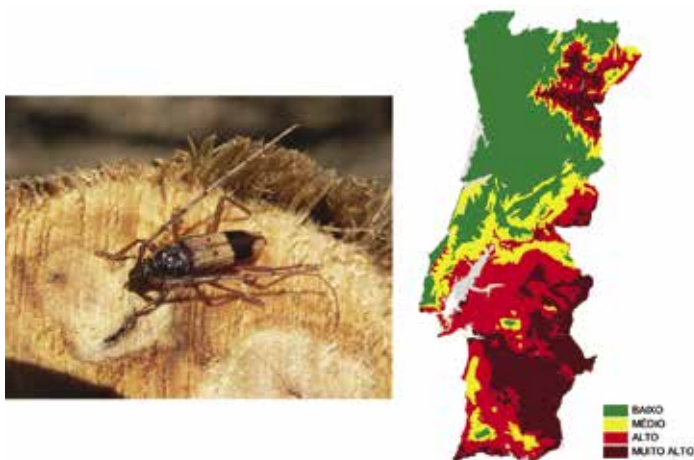


Figura 1.
Distribuição geográfica do risco de ataque por foracanta.

gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis*)

O gorgulho-do-eucalipto, *Gonipterus platensis*, identificado no nosso país em 1995, tem-se revelado o problema fitossanitário mais premente, tendo provocado até à data perdas superiores a 600 M EUR (Figura 2). O inseto adulto e as larvas alimentam-se exclusivamente da folhagem dos eucaliptos, provocando perdas de produtividade acentuadas das plantações. Em 1996 o **RAIZ** iniciou um projeto, em colaboração com entidades portuguesas e espanholas, destinado à monitorização e controlo da praga.

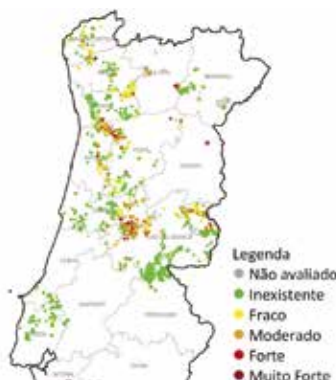


Figura 2.
Distribuição geográfica dos
vários níveis de ataque por
G. platensis.

O controlo biológico, através do inimigo natural australiano *Anaphes nitens*, foi a metodologia selecionada inicialmente para minimizar o impacto da praga. Entre 1997 e 2000 foram libertados em Portugal, sob coordenação do **RAIZ**, cerca de 300 000 indivíduos. A ação deste inimigo foi muito positiva, com exceção das regiões montanhosas do norte e centro. Tendo em vista estas regiões problemáticas, entre 2012 e 2015 foram libertados cerca de 70 000 indivíduos de um outro inimigo natural, *Anaphes inexpectatus*. Este inimigo natural apresentou, até ao momento, taxas de parasitismo baixas em campo, estando ainda em avaliação. O potencial para libertação de outras espécies de inimigos naturais, incluindo *Entedon magnificus*, está a ser avaliado.

O **RAIZ** tem investigado materiais genéticos de eucalipto menos suscetíveis do que *E. globulus*. A espécie *Eucalyptus nitens* é conhecida por ser menos atacada pela praga, embora não tenha propriedades de madeira tão favoráveis. Outras espécies como *E. regnans*, *E. fastigata* e *E. delegatensis* mostraram tolerância à praga em ensaios do **RAIZ** instalados para procurar alternativas a *E. globulus* e a *E. nitens*.

O **RAIZ** identificou, desde 2003, inseticidas para minimizar o impacto do gorgulho para situações em que não havia alternativa eficaz. Os primeiros tratamentos operacionais foram realizados em 2011 em cerca de 1 800 ha. A elevada eficácia demonstrada conduziu a novas aplicações em 15 890 ha, entre 2012 e 2015. Estes tratamentos têm sido eficazes, reduzindo a praga em até 90%. Ainda assim, uma vez que os tratamentos com inseticida têm de ser feitos anualmente, o controlo biológico e a utilização de materiais genéticos alternativos revelam-se mais viáveis a longo prazo.

07

**DETERMINAÇÃO DA
QUALIDADE DO SÍTIO**

07 DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO SÍTIO

A determinação do potencial produtivo para o eucalipto em cada sítio, a partir dos principais fatores que o condicionam, permite avaliar de forma objetiva e estruturada o valor de cada estação e identificar os riscos bióticos e abióticos, que podem vir a condicionar a viabilidade do investimento florestal. O **RAIZ** desenvolveu uma classificação da qualidade do sítio para eucalipto através de uma metodologia de zonagem edafoclimática. Este trabalho deu origem a conhecimento chave para o planejamento florestal do eucalipto, destacando-se:

- A metodologia para avaliação do potencial de solo para o eucalipto: a capacidade do solo disponibilizar água para a planta, o volume de solo explorável pelas raízes, a resistência ao desenvolvimento radicular e as características químicas ou físicas condicionadoras do desenvolvimento das plantas;
- A classificação do potencial de clima para o eucalipto: considerando não só as variáveis climáticas mais relevantes para a espécie mas, também, os fatores topográficos, altitude e exposição, que condicionam o microclima do sítio;
- Caracterização de riscos bióticos e abióticos para o eucalipto: identificando os riscos de ocorrência de fatores bióticos, como a possível ocorrência de danos por a doença-das-manchas (género *Teratosphaeria*), a foracanta (*Phoracantha semipunctata* e *P. recurva*), o gorgulho-do-eucalipto (*Gonipterus platensis*) e abióticos como encharcamento, tombamento e geadas.

07 DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE DO SÍTIO

potencial de solo para eucalipto

A aptidão do solo considerada nesta caracterização tem a ver com: a capacidade do solo disponibilizar água para a planta, o volume de solo explorável pelas raízes, a resistência ao desenvolvimento radicular e as características químicas ou físicas condicionadoras do desenvolvimento das plantas. O trabalho de campo consiste na abertura de perfis do solo que permitem fazer a sua caracterização morfológica: identificação e descrição dos horizontes, profundidade efetiva, grau de pedregosidade, cor, estrutura, textura e grau de compactação do solo, de acordo com a nomenclatura do sistema WRB/FAO. A análise de solos para caracterização de parâmetros químicos é realizada apenas quando se identificam fatores fortemente restritivos como, por exemplo, a presença de calcário ativo nas camadas superficiais do solo. Em função das suas características é atribuído a cada solo uma classificação de aptidão de 0 a 10, sendo 0 inapto e 10 muito apto. Assim, as variáveis a recolher por cada tipo de solo e horizonte são a Profundidade (cm), Pedregosidade (%), Textura (classes), Estrutura, Adensamento e Cor.

potencial de Clima para eucalipto

As variáveis climáticas foram classificadas em 11 níveis de aptidão climática (designadas de *zonas climáticas*, de 0 a 10), para *E. globulus*. As variáveis climáticas consideradas são a Precipitação Total Anual (mm), o Número de Dias com Precipitação Superior a 1mm, o Tipo de Verão e a Precipitação Total (mm) dos meses de junho, julho e agosto. Por vezes, é igualmente relevante caracterizar a propriedade de acordo com o Risco de geada e Tipo de Inverno. Além disso, existem variações topográficas locais que condicionam o microclima das propriedades de forma diferente, consoante a zona do país em estudo. Os fatores topográficos mais comuns e que exigem uma análise detalhada em cada propriedade são a altitude

e exposição. Na prática, o seu efeito traduz-se por uma melhoria ou agravamento das condições climáticas médias da região. A classificação do potencial de clima foi sistematizada, em 2002, pelo RAIZ através da elaboração de uma Carta Climática (Figura 1).

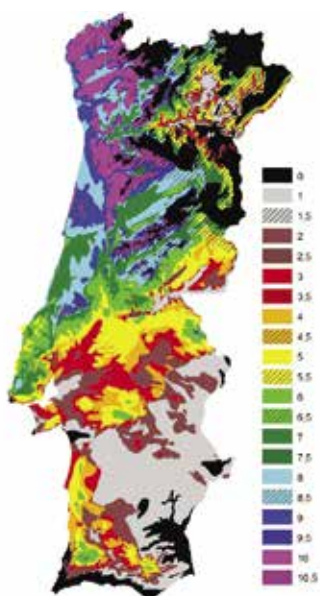


Figura 1. Zonas Climáticas Homogêneas de aptidão para *E. globulus*, modificada de acordo com as variáveis locais (exposição e altitude) e incidência de frio (riscado).

caracterização de riscos bióticos e abióticos

Em cada ZH, são identificados riscos de ocorrência de fatores bióticos (como a possível ocorrência de danos por *Gonipterus*, *Phoracantha* ou *Mycosphaerella*) e abióticos (como encharcamento, tombamento e geadas) que, a ocorrerem, poderão comprometer o sucesso da plantação ou o normal crescimento do eucalipto. A inventariação destes riscos permite complementar a avaliação de risco do investimento e informar sobre as medidas de mitigação necessárias (ex. clones específicos a usar, áreas a proteger, medidas de combate, entre outros).

recomendação de materiais genéticos

Para efeitos de recomendação de materiais genéticos e condução do programa de melhoramento as ZH foram agregadas em duas Regiões de Melhoramento (RM): RM1 típica da região norte e costeira, de menor déficit hídrico e temperaturas mais baixas; e RM2 típica do sul e interior de características mais continentais e maior déficit hídrico. Estas regiões tiveram uma verificação experimental, através de um conjunto dos ensaios, que demonstraram haver uma consistência de resultados entre clones, dentro de cada uma das zonas. Em 2009 foram também caracterizadas áreas com *E. nitens* de modo a se poderem definir as classes de aptidão para esta espécie. Conclui-se que têm aptidão para *E. nitens* as ZH's com solos de classe igual ou superior a 2 e climas iguais ou superiores a 7.

estimativa de produtividade

A estimativa de produtividade e restantes elementos que estão associados a cada uma das ZH constituem um elemento essencial de suporte à gestão florestal. O processo de estimativa de produtividade foi desenvolvido a partir da análise de dados de inventário para cada classe de ZH. Assim, foram constituídos diferentes agrupamentos de ZH que, posteriormente, originaram oito Regiões de Produtividade (RP), definidas especificamente para *E. globulus* (Figura 2) e três Regiões de Produtividade para *E. nitens*. Para outros tipos de materiais, como por exemplo os híbridos interespecíficos, não existe ainda informação de inventário disponível para proceder a esta validação.

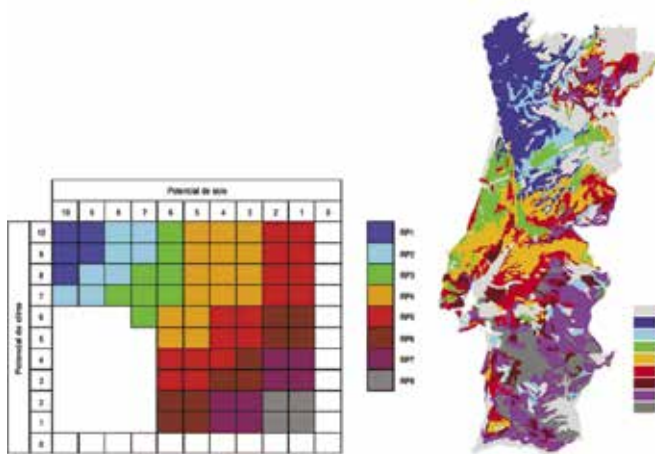


Figura 2.

Matriz de Regiões de Produtividade (cada região tem uma cor distinta) e distribuição das classes de Produtividade em Portugal, com base em informação cartográfica de solo e clima. Ambos se referem a *E. globulus*.

apoio à decisão relativamente à mobilização de solo

Para apoio na decisão sobre o melhor método de preparação de solo a adotar em cada caso, devem ser consideradas em conjunto características físicas do solo e de declive do terreno. Estas são obtidas durante o processo de zonagem. Nela integram-se, posteriormente, variáveis de compactação e profundidade do solo que, na chave de decisão, irão permitir decidir qual a intensidade de mobilização de solo adequada. A aplicação deste procedimento permite reduções no impacte realizado no solo e, em certos casos, redução de custos de preparação de terreno, sem sacrifício de se assegurar uma correta mobilização do solo para o eucalipto.

08

**APOIO
TÉCNICO-CIENTÍFICO DE
SUPORTE À CERTIFICAÇÃO
FLORESTAL**

08 APOIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE SUPORTE À CERTIFICAÇÃO FLORESTAL

A floresta, nativa ou plantada, representa um património não só em termos económicos mas também em termos ambientais e sociais, uma vez que desempenha importantes funções ecológicas e de lazer que interessam valorizar e explorar de forma responsável e sustentável. Para fazer face a esta exigência, a sociedade e os mercados de produtos de origem florestal desenvolveram e implementaram normas que estabelecem princípios, critérios, e indicadores de boas práticas de gestão florestal para empresas, associações e produtores florestais que são auditados por entidades independentes, o que permite verificar o cumprimento desses requisitos e a sua certificação florestal. Desde o início do processo de certificação florestal da **The Navigator Company**, na década passada, o **RAIZ** tem tido um papel ativo junto do órgão interno da Companhia responsável pela certificação, contribuindo:

- Na formulação de conteúdos técnicos e implementação do sistema de certificação florestal da **The Navigator Company**;
- No suporte nos processos de auditoria de manutenção da certificação e revisões periódicas dos referenciais técnicos.

08 APOIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE SUPORTE À CERTIFICAÇÃO FLORESTAL

certificação florestal da The Navigator Company

Atualmente existem dois sistemas de certificação florestal em Portugal:

Sistema PEFC ⁽¹⁾

“*Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes*” que foi fundado na Europa, em 1999, e teve por base os Critérios Pan-Europeus para uma Gestão Florestal Sustentável. O PEFC Portugal é o Sistema Português de Certificação da Gestão Florestal Sustentável, reconhecido pelo PEFC Internacional, que permite aos produtores florestais portugueses cumprirem requisitos de gestão florestal sustentável reconhecidos internacionalmente;

Sistema FSC[®] ⁽²⁾

Forest Stewardship Council[®] - com a missão de promover uma gestão das florestas existentes no mundo que fosse ambientalmente responsável, socialmente benéfica e economicamente viável, através da definição e implementação de Princípios e Critérios de Gestão Florestal reconhecidos e respeitados mundialmente.

No caso da **The Navigator Company**, parte importante dos requisitos da certificação florestal são os referenciais técnicos que a Companhia aplica na sua gestão florestal do dia-a-dia como, por exemplo, as normas técnicas de silvicultura e exploração florestal, que estabelecem critérios e procedimentos técnicos a serem adotados em cada condição edafoclimática existente nos diferentes ambientes em que a Companhia realiza as suas operações florestais.

Ao longo dos anos, o **RAIZ** contribuiu para o desenvolvimento das Políticas Florestais e de Sustentabilidade da empresa, designadamente na formulação de Códigos de Conduta Florestal e, mais recentemente, na consolidação das melhores práticas silvícolas e de proteção florestal,

(1) PEFC/13-23-001;

(2) FSC-C010852;

incluídas no sistema de certificação implementado pela **The Navigator Company**. Complementarmente, durante os processos de auditoria de manutenção da certificação e revisões periódicas dos referenciais técnicos, o **RAIZ** tem exercido um papel importante no apoio às áreas operacionais e à área responsável pela certificação florestal, bem como na demonstração da qualidade das intervenções silvícolas e dos altos padrões de gestão florestal seguidos pela Companhia.

09

**A FLORESTA PLANTADA
DO EUCALIPTO E O
AMBIENTE**

09 A FLORESTA PLANTADA DO EUCALIPTO E O AMBIENTE

As florestas plantadas no seu conjunto representam apenas 7% da área total de florestas no mundo, mas são responsáveis por 46% do fornecimento de produtos renováveis como por exemplo, a produção de madeira para uso industrial. Este facto mostra a importância ambiental que a floresta plantada tem ao aliviar a pressão de exploração das florestas naturais e ainda propiciando a oportunidade, caso se justifique, para a sua reabilitação. Face a esta situação não é expectável que a floresta plantada e a floresta natural tenham exatamente as mesmas funções ecológicas e sociais, ambos os tipos de floresta são importantes para a sociedade e devem coexistir. Neste contexto, o **RAIZ** adquiriu conhecimento que permite, por um lado, minimizar efeitos negativos no ambiente que a atividade florestal desenvolvida nas florestas plantadas poderá ter e, por outro lado, agir para promover os seus efeitos positivos tal como é preconizado pelos sistemas de certificação florestal, destacando-se o conhecimento adquirido sobre:

- A qualidade do sítio para o eucalipto, identificando as áreas que são inaptas e minimizando os danos ambientais relacionados com o estabelecimento de plantações em áreas inapropriadas;
- Os ganhos no *stock* de carbono do solo ao fim de uma rotação de eucalipto;
- O uso de água pela floresta plantada de eucalipto e a caracterização do stresse hídrico;
- Formas de compatibilizar as exigências produtivas de uma floresta plantada com questões relevantes para um ecossistema mais diverso;
- Operações silvícolas e de exploração florestal que garantam a sustentabilidade do sistema florestal.

09 A FLORESTA PLANTADA DO EUCALIPTO E O AMBIENTE

conhecimento da qualidade do sítio

O conhecimento dos solos florestais e a sua interação com o clima permite estimar com maior precisão a aptidão florestal de cada sítio, conduzindo a uma melhor quantificação dos riscos associados à florestação com eucaliptos e à identificação de áreas inaptas para plantação da espécie. Estas melhores práticas de ordenamento, para além da vantagem económica, resultam numa significativa diminuição de danos ambientais relacionados com o estabelecimento de plantações em áreas inapropriadas. O conhecimento desenvolvido pelo **RAIZ** permitiu ainda estabelecer critérios delimitadores de áreas de proteção, adicionais aos impostos pela legislação, por exemplo, no que respeita a áreas de acumulação de águas ou de alto valor de conservação ambiental. Neste caso, para além do valor associado à melhor proteção da disponibilidade de água superficial, existe o valor ecológico de manutenção do habitat ripícola (Figura 1).



Figura 1.

Plantação do clone GOES de *E. globulus* com destaque para a faixa de proteção das linhas de água (esquerda). Zona ripícola não plantada (direita).

ganhos no *stock* de carbono

Uma das implicações do aumento de produtividade, resultado do grande esforço de I&D do **RAIZ**, tem sido um aumento do *stock* de carbono na floresta. Os ganhos em carbono, através da maior quantidade de biomassa produzida, podem ser facilmente quantificáveis sendo porém menos evidente a evolução do carbono no solo em plantações de eucalipto.

O **RAIZ** estudou esta evolução para um conjunto de 12 diferentes condições de solo e clima em Portugal (Tabela 1).

Código do ensaio	Concelho	Rotação	Matéria orgânica no início da rotação	Matéria orgânica no final da rotação	Delta MO (diferença entre o final e o início da rotação)
SNF131	Gavião	1	1,59	2,70	1,11
SNF133	V. Nova de Poiares	1	5,70	7,23	1,53
SNF141B	Nisa	1	0,56	1,65	1,09
SNF145A	Celorico de Basto	1	7,80	9,75	1,95
SNF150	Odemira	2	2,67	4,26	1,59
SNF164B1	Penamacor	1	3,64	5,65	2,01
SNF164B2	Penamacor	1	1,96	4,33	2,37
SNF164B3	Penamacor	1	2,84	3,78	0,94
SNF165B1	Odemira	1	3,84	4,26	0,42
SNF165B3	Odemira	1	4,36	5,22	0,86
SNF178A	Odemira	1	2,52	3,33	0,82
Média	Diversos	1	3,40	4,74	1,34*

* O valor de 1,34% de matéria orgânica do solo corresponde a um teor de 0,75% de carbono orgânico no solo.

Tabela 1: Aumento do carbono orgânico do solo sob povoamentos de eucalipto numa rotação de aproximadamente 12 anos, em diferentes condições de solo e clima de Portugal.

Os resultados mostraram em média um aumento de 1,34% da matéria orgânica do solo, ao final de uma rotação de 12 anos, correspondendo aproximadamente a 0,75% de carbono. Este aumento constitui por si só um ganho ambiental, pois corresponde a uma variação positiva nos *stocks* de carbono retido nas plantações, a adicionar ao aumento de *stocks* na sua biomassa. Além disso, representa uma importante melhoria da aptidão dos solos florestais em Portugal, por efeito do aumento dos teores de matéria orgânica uma vez que este está relacionado com a fertilidade dos solos em nutrientes chave como o azoto, fósforo e boro, aumento de capacidade de retenção da água e permite uma maior agregação das partículas de solo, tornando-os menos suscetíveis a perdas de nutrientes.

o uso da água pela floresta

A disponibilidade hídrica constitui a maior condicionante ao crescimento do eucalipto. Nesse sentido, o **RAIZ** estudou os aspetos de ciclo hidrológico associados às plantações de eucalipto, em parceria com o Instituto Superior de Agronomia (ISA). Verificou uma relação linear entre a evapotranspiração real e a precipitação quando a precipitação anual foi inferior a 1000 mm, tendo sido neste caso negligenciáveis os escoamentos para fora da bacia. Quando a precipitação foi superior a 1000 mm/ano, observou-se que a evapotranspiração real estabilizou em valores próximos de 1000 mm, tendo o excesso correspondido a escoamento.

O stresse hídrico em povoamentos florestais potencia eventuais problemas de mortalidade, ocorrência de pragas e níveis de produtividade abaixo do limiar de rentabilidade, com danos ambientais significativos. Por essa razão, o **RAIZ** determinou valores de referência para dois indicadores: o défice hídrico (DH) e o número de meses secos consecutivos (NMS). O DH traduz a intensidade do stresse e o NMS a sua duração. O DH assume valores diferentes de zero quando a precipitação for inferior à evapotranspiração potencial, estando agrupado em três classes (sem *stress* ≤ 150 mm; *stress* moderado 150-350mm; *stress* acentuado > 350 mm). O NMS representa o número de meses sem chuva agrupando-se em três classes (sem *stress* 1-2 meses; *stress* moderado 3-4 meses; *stress* acentuado > 4 meses).

biodiversidade

O **RAIZ** tem efetuado investigação no sentido de tornar compatíveis as exigências produtivas de uma floresta plantada com questões relevantes para um ecossistema mais diverso, designadamente:

- Controlo moderado de infestantes em sob coberto, a níveis que não constituam risco acentuado de incêndio nem impactem acentuadamente na produtividade das árvores;
- Uso restritivo de intervenções químicas, de modo a manter os níveis de pragas ou doenças dentro de valores aceitáveis à exploração económica das plantações;
- Avaliação dos impactos no ecossistema previamente à decisão de uso, mesmo que mitigado, de inseticidas e herbicidas;
- Assegurar uma diversidade genética suficiente na floresta clonal plantada, para garantir a resiliência da floresta instalada a pragas, défice hídrico e alterações climáticas;

- A identificação rigorosa e manutenção das áreas de proteção às linhas de água, com consequente respeito pelas formas de vida características dessas áreas;
- A preservação de manchas de vegetação com espécies autóctones de elevado valor de conservação.

silvicultura e exploração florestal orientadas para a sustentabilidade

O **RAIZ** sistematizou o conhecimento obtido nos seus ensaios sobre operações florestais através da definição de normas técnicas de silvicultura, de correção da fertilidade dos solos e de diminuição dos impactos negativos no solo associados às atividades silvícolas, com destaque para: a preparação de terreno associado a um melhor controlo da erosão; uma adubação que evite a aplicação excessiva de fertilizantes.

Com base em diversos estudos sobre o balanço geoquímico de nutrientes, feitos em 2010 pelo **RAIZ**, foram estabelecidos procedimentos específicos para a gestão dos sobrantes do corte, orientando a exploração florestal e estabelecendo critérios sobre qual a intensidade de remoção de biomassa (apenas madeira, madeira + casca, madeira + casca + bicada) a adotar em cada caso e quais as respetivas medidas mitigadoras e compensatórias.

10

**CONSTITUIÇÃO QUÍMICA
DA MADEIRA**

10 CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

A composição química detalhada da madeira de *Eucalyptus globulus*, a espécie utilizada em Portugal para a produção de pastas de celulose essencialmente destinadas ao fabrico de papéis de impressão e escrita, papéis domésticos e papéis decorativos, foi estudada pelo **RAIZ** e as Universidades de Aveiro, Beira Interior e Coimbra. Foram realizados estudos comparativos com a composição química das outras espécies de folhosas, maioritariamente utilizadas a nível global, para a produção de pastas papeleiras (bétula, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urograndis* e acácias).

Os principais constituintes de todas as madeiras são a celulose e as hemiceluloses que formam a parede das fibras e a lenhina que as aglomera, conferindo rigidez, impermeabilidade e resistência. O conhecimento detalhado da composição química da madeira de *E. globulus* permitiu:

- Identificar as razões para o melhor desempenho do *E. globulus* nos processos químicos de cozimento e branqueamento da pasta quando comparado com outras espécies, com rendimentos de transformação mais elevados e menores consumos de químicos;
- Contribuir para a otimização destes processos, quer ao nível de rendimentos e consumos, quer ao nível da qualidade dos produtos;
- Facilitar a verificação dos impactes da aplicação à madeira de *E. globulus* de inovações tecnológicas desenvolvidas para os processos de cozimento e branqueamento e a sua interpretação fundamentada.

10 CONSTITUIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

estudo da composição química da madeira de *E. globulus*

A prática industrial de utilização da madeira de *E. globulus* na produção de pasta branca, desenvolvida na fábrica de Cacia, desde 1958, e mais tarde alargada à fábrica de Setúbal (Socel), em 1964, e à fábrica da Figueira (Soporcel), em 1984, permitiu conhecer o desempenho industrial desta espécie, tanto a nível de cozimento *kraft* como do branqueamento da pasta. O trabalho mais tarde desenvolvido no **RAIZ** e nas Universidades de Aveiro, Beira Interior e Coimbra conduziu a um conhecimento mais fundamentado e sistematizado das especificidades das características químicas e morfológicas do *E. globulus* e da compreensão do seu impacto no cozimento *kraft*, no branqueamento da pasta e na exploração do seu potencial papelero.

Os estudos desenvolvidos permitiram identificar as características químicas e estruturais da madeira de *Eucalyptus globulus* que fundamentam o seu melhor desempenho - rendimento superior e menores consumos de álcali no cozimento *kraft* e menores consumos de dióxido de cloro no branqueamento ECF face a espécies concorrentes (*Bétula pendula* (Escandinávia), *Acácia mangium* (Ásia), *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grandis* (América Latina, Brasil em particular).

A composição química da madeira de *E. globulus*, relativamente às frações de lenhina, celulose e hemiceluloses (tabela 1) contribui para o mais elevado rendimento de cozimento *kraft*.

Parâmetro	% m/m madeira				
	<i>E. globulus</i>	<i>E. urograndis</i>	<i>B. pendula</i>	<i>E. grandis</i>	<i>A. mangium</i>
Lenhina Total	22,07	27,93	21,50	26,66	27,64
α -Celulose	48,3	47,8	40,3	45,5	45,0
Hemiceluloses	18,7	15,1	24,0	13,2	14,3

Tabela 1. Composição química de diferentes espécies de folhosas.

Por outro lado, a estrutura da lenhina da madeira de *E. globulus* explica a sua maior reatividade, quando comparada com a das outras folhosas, contribuindo complementarmente para o mais elevado rendimento e os menores consumos de químicos ativos.

A lenhina de folhosas é constituída por estruturas derivadas do seringilpropano (S), guaiacilpropano (G) e p-hidroxifenilpropano (H), unidas entre si por diferentes tipos de ligação C-O-C e C-C. É um biopolímero complexo que é necessário fragmentar parcialmente e dissolver durante o cozimento *kraft*. A abundância relativa de unidades S, G e H, bem como do tipo de ligações entre estas varia significativamente entre espécies, influenciando a reatividade da lenhina nos processos de cozimento e de branqueamento.

A lenhina da *E. globulus* apresenta uma proporção relativa de unidades S superior a 80%, valor consideravelmente acima da média das lenhinas de folhosas.

As unidades do tipo seringilo (S) são mais reativas no processo de deslenhificação do que as estruturas do tipo guaiacilo (G) e, são menos reativas em processos de condensação ou repolimerização da lenhina (que contribuem para retardar a remoção da lenhina). Este efeito duplamente positivo é patente na menor carga alcalina e de dióxido de cloro necessárias, respetivamente, para o cozimento e para o branqueamento das madeiras e pastas, conforme representado na Figura 1.

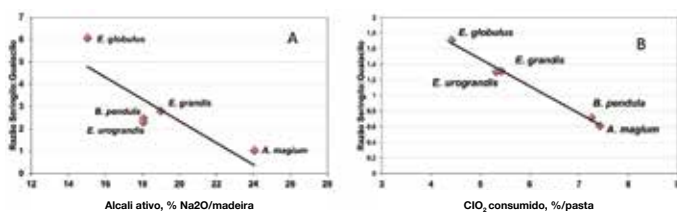


Figura 1.

Relação entre a proporção relativa de unidades seringilo e guaiacilo nas lenhinas das madeiras e pastas *kraft* e a aptidão do cozimento (A) e ao branqueamento (B).

A razão entre estruturas não condensadas/estruturas condensadas (nC:C) demonstra que as lenhinas de *Eucalyptus* e, em particular, a de *E. globulus*, apresentam menor grau de condensação do que as lenhinas das outras folhosas. Esta diferença manifesta-se nos processos como uma vantagem já que, tanto no cozimento *kraft* como no processo de branqueamento, induz uma maior facilidade de despolimerização/solubilização o que, por sua vez, se reflete no menor consumo de químicos para o *E. globulus* como evidencia a Figura 2.

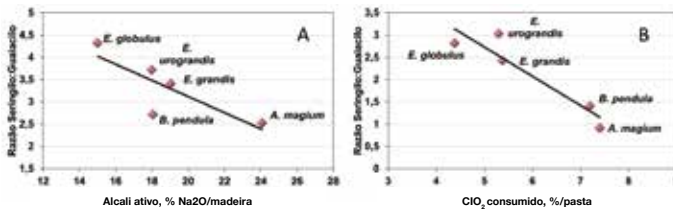


Figura 2.

Relação entre a proporção relativa de estruturas não condensadas/condensadas (nC:C) nas lenhinas das madeiras e pastas *kraft* e a aptidão ao cozimento (A) e ao branqueamento (B).

Relativamente às xilanas (constituente principal das hemiceluloses) a estrutura química particular das xilanas da madeira de *E. globulus* explica a sua maior estabilidade e retenção observada no processo de cozimento *kraft*.

Complementarmente à caracterização química detalhada da madeira de *E. globulus* foram desenvolvidos estudos para avaliar o efeito das condições de cozimento, nas características químicas de pastas *kraft* de *E. globulus* (essencialmente relacionado com o nível de retenção das xilanas), e a eficácia de estratégias para otimizar o rendimento de cozimento através do aumento da retenção de polissacarídeos durante a produção de pasta *kraft* de *Eucalyptus globulus*.

Foram testadas diferentes estratégias de modificação do cozimento com o objetivo de maximizar a retenção de polissacarídeos e, conseqüentemente, o rendimento através da seletividade da deslenhificação: cozimento com aditivos (antraquinona, tensoativo, metanol, metaborato de sódio e ureia), interrupção do cozimento e deslenhificação com O₂ e, ainda, repartição da carga alcalina.

A concentração alcalina efetiva durante o tempo de patamar à temperatura máxima possui impacto no rendimento total do cozimento (1-2 %). A adição de antraquinona também revelou beneficiar o rendimento (2%) através de maior preservação das xilanas. No entanto, a pasta *kraft* produzida por repartição de carga possui melhor branqueabilidade e maior estabilidade à brancura do que a pasta proveniente do cozimento aditivado.

11

**COZIMENTO DA
MADEIRA**

11 COZIMENTO DA MADEIRA

O cozimento *Kraft* é hoje o processo principalmente utilizado na produção de pastas papeleiras. São utilizados como agentes químicos o hidróxido de sódio e o sulfureto de sódio que, em solução aquosa em contacto com a madeira em aparas e a uma temperatura elevada, conduzem à solubilização da lenhina, libertando as fibras de celulose que vão constituir a pasta. O resultado final, nomeadamente quanto ao grau de deslenhificação alcançado, depende das condições utilizadas (carga de químicos, temperatura e tempo de cozimento) mas também da composição química e morfologia da madeira.

As Universidades que trabalham em rede com o **RAIZ** levaram a cabo vários estudos do cozimento do *E. globulus*, sendo de referir com destaque o trabalho de doutoramento realizado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, em colaboração com o **RAIZ**, “Efeito das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas *Kraft* de *E. globulus*”; o estudo da cinética das reações no cozimento *Kraft* e o desenvolvimento de um modelo do processo conduzido num digestor contínuo, realizados pelo Departamento de Engenharia Química da mesma Faculdade e a tese de doutoramento “Estratégias para o aumento da retenção de polissacarídeos durante a produção de pasta *Kraft* de *Eucalyptus globulus*” orientado pelo Departamento de Química da Universidade de Aveiro. Destes estudos resultou conhecimento específico muito relevante do desempenho da espécie no cozimento:

- Conhecimento da influência das variáveis de cozimento (carga de químicos, índice de sulfureto - teor relativo de sulfureto na carga de químicos, concentrações determinadas pela chamada razão líquido/madeira - decorrente da quantidade de água de diluição usada, perfil de temperatura, tempo de cozimento) no grau de deslenhificação da pasta, no rendimento de transformação e nas características químicas e papeleiras da pasta;

- Conhecimento da influência das mesmas variáveis no processo industrial de cozimento num digestor contínuo, a partir do modelo heterogéneo em duas fases desenvolvido na FCTUC, sobre o grau de deslenhificação, o rendimento e o grau de retenção das hemiceluloses;
- Identificação da estratégia mais interessante para o aumento do rendimento do cozimento, a repartição da carga de químicos em vários pontos do digestor, limitando a sua concentração máxima, o que conduz a uma maior retenção de polissacarídeos, mantendo uma maior facilidade de branqueamento da pasta do que as estratégias baseadas no uso de aditivos.



estudos do cozimento *Kraft* da madeira de *E. globulus*

O estudo do efeito das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas *Kraft* de *E. globulus* foi desenvolvido a partir de uma base experimental muito robusta, constituída por mais de cem cozimentos realizados no **RAIZ**, num digestor laboratorial com circulação forçada do licor de cozimento.

Para cada cozimento foi avaliado o grau de deslenhificação através da determinação do índice kappa (medida indireta da lenhina residual), tendo-se ainda determinado a percentagem de lenhina klason nas pastas de cozimentos com resultados mais interessantes para o estudo em curso, bem como a viscosidade intrínseca e o teor de pentosanas. Foi igualmente calculado o rendimento do processo de cozimento, rendimento total, teor de incozidos na pasta e rendimento depurado para cada caso.

Foram usadas as pastas cruas de vários cozimentos com o índice kappa próximo das pastas comerciais, para avaliar a influência das condições processuais na branqueabilidade da pasta. Conclui-se que o índice de sulfureto (razão entre o sulfureto e a soma sulfureto e hidróxido de sódio) influencia a branqueabilidade das pastas e o teor de pentosanas, o que se refletirá no desenvolvimento das propriedades papelarias das pastas.

O desenvolvimento pela FCTUC do modelo heterogéneo em duas fases (sólida, aparas de madeira e líquida) do processo de cozimento para um digestor industrial contínuo (kamyrr), figura 1, iniciou-se pelo estudo das cinéticas das reações químicas dos principais constituintes da madeira (lenhina, celulose e hemiceluloses) com os agentes de cozimento (figura 2).

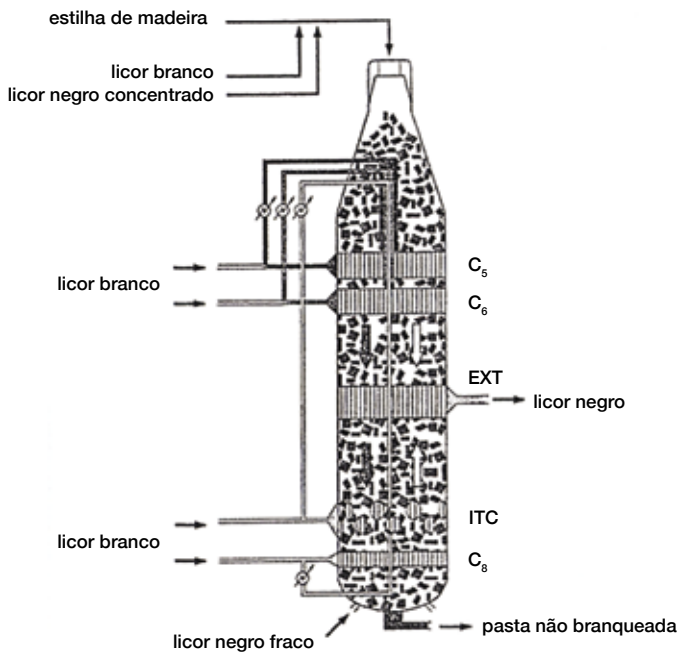


Figura 1.
Esquema simplificado de um digestor contínuo com cozimento isotérmico.

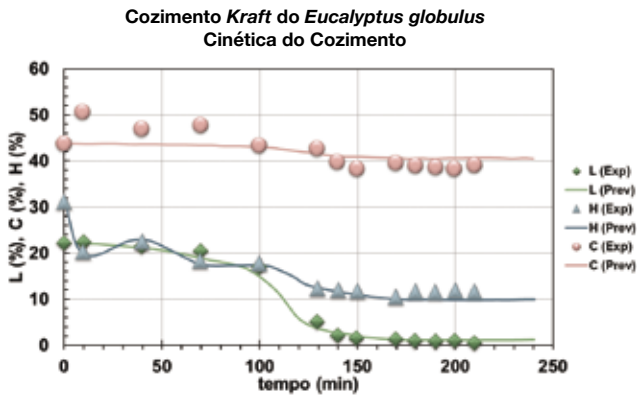


Figura 2.
Cinética das reações químicas dos vários constituintes da madeira (L - lenhina, C - celulose, H - hemicelulose). Prev - valores previstos; Exp - valores experimentais.

A heterogeneidade de fases exigiu o estudo e caracterização dos fenômenos de difusão do licor de cozimento no interior das aparas de madeira. A figura 3 mostra a evolução da deslenhificação com o tempo para diferentes temperaturas de cozimento e para aparas de *E. globulus* de 6 mm.

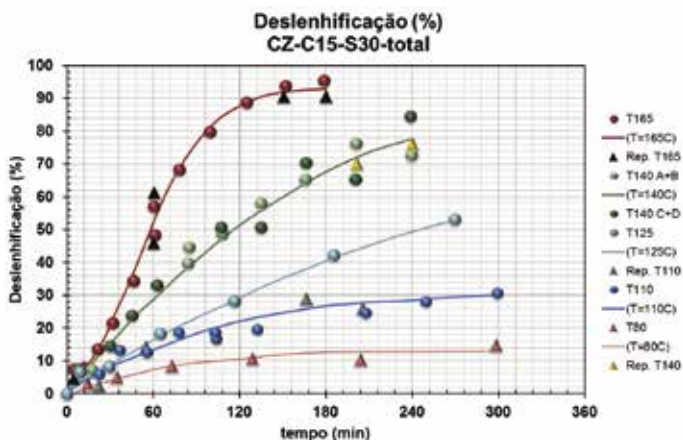


Figura 3.
Evolução da deslenhificação de aparas de *E. globulus* de 6 mm.

Confirmou-se que as concentrações de álcali no interior das aparas são significativamente diferentes da concentração do licor circundante, pelo que os fenómenos de difusão são determinantes para as cinéticas do processo, tendo de ser modelizados para inclusão no modelo final. O modelo foi validado com dados industriais.

No estudo de estratégias para o aumento da retenção de polissacarídeos durante a produção de pasta *Kraft* de *E. globulus*, desenvolvido com a UA, foi testado o uso de vários aditivos (antraquinona, tensoativo, metanol, metaborato de sódio e ureia) ao cozimento *Kraft* de *E. globulus*, bem como a repartição da carga alcalina e a interrupção precoce do cozimento *Kraft* (final da fase principal) e posterior deslenhificação com O_2 .

Concluiu-se que a antraquinona é o aditivo mais eficaz na retenção de polissacarídeos na matriz fibrosa (2% em base de madeira seca). A interrupção precoce do cozimento é, igualmente, uma estratégia atrativa para o aumento de polissacarídeos na fibra de *E. globulus*, pois a deslenhificação com O_2 apresenta uma seletividade mais elevada que a fase residual do cozimento *Kraft* desta madeira.

Uma distribuição mais uniforme da carga alcalina ao longo do cozimento resultou num maior efeito, ao nível do rendimento do processo e da qualidade da pasta obtida, tendo-se verificado que a concentração durante o período de temperatura máxima afeta significativamente a retenção de polissacarídeos na matriz fibrosa.

As pastas cruas obtidas nos diferentes tipos de cozimento foram branqueadas. A repartição da carga alcalina dá origem a uma pasta com melhor branqueabilidade e maior estabilidade à brancura. Pelo contrário, a adição de antraquinona ao cozimento *Kraft* prejudica o desenvolvimento de brancura da pasta crua.

12

**BRANQUEAMENTO DA
PASTA**

12 BRANQUEAMENTO DA PASTA

O branqueamento da pasta é o segundo processo químico que, após o cozimento da madeira, afeta a qualidade do produto final e tem implicações nos custos variáveis de produção, essencialmente decorrentes dos consumos de químicos e nos impactes ambientais.

No início dos anos 90, a tradicional utilização do cloro como agente de branqueamento foi sendo progressivamente abandonada por razões ambientais, dada a produção de dioxinas a que o processo conduzia. Foram desenvolvidos novos processos, o branqueamento ECF (elemental chlorine free, sem cloro elementar (Cl₂)), utilizando o dióxido de cloro como principal agente e o branqueamento TCF (totally chlorine free, sem cloro).

O **RAIZ** desenvolveu vários estudos de branqueamento com três objetivos:

- Identificar as sequências que permitem, para o *E. globulus*, atingir o grau de brancura desejado, cumprindo os limites estabelecidos a nível europeu para os vários parâmetros ambientais. Verificou-se que a sequência ECF aplicada à pasta de *E. globulus* permite atingir os níveis de brancura desejados e cumprir os limites de emissão de compostos organoclorados;
- Fazer o *benchmark* com as principais espécies de madeira usadas pela concorrência, no que diz respeito ao desempenho no branqueamento. Confirmou-se que o consumo de químicos, para o mesmo grau de brancura final, é menor para a pasta de *E. globulus*, o que determina também a menor emissão de compostos organoclorados;
- Otimizar as condições processuais da sequência ECF, a fim de minimizar o consumo de químicos e melhorar a qualidade da pasta, quer quanto à reversão da brancura quer quanto à aptidão papelreira.

12 BRANQUEAMENTO DA PASTA

estudo do branqueamento de pastas de folhosas

A aplicação de uma sequência ECF às principais espécies de madeira usadas na produção de pastas de fibra curta (*E. globulus*, *E. grandis* e *E. urograndis*, principal matéria-prima usada no Brasil, Bétula, matéria-prima usada na Escandinávia e Acácia, principal madeira usada na Ásia) evidencia o melhor desempenho relativo da pasta de *E. globulus* (figura 1).

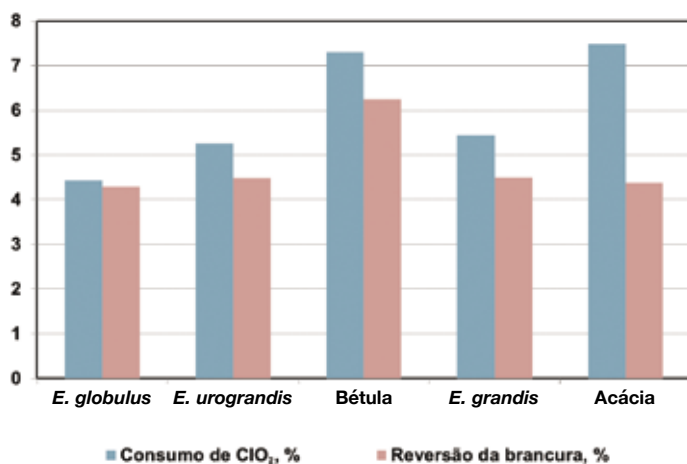


Figura 1.
Desempenho comparado de pastas de diferentes folhosas numa sequência de branqueamento ECF.

Foi igualmente estudada a inclusão de um estágio de deslenhificação com oxigênio, embora a boa branqueabilidade da pasta crua de *E. globulus* permita atingir níveis elevados de brancura com uma simples sequência ECF, sem atingir os limites estabelecidos para os impactos ambientais, quer relativamente à carga orgânica, quer em relação aos compostos orgânicos halogenados (AOX).

A deslenhificação com oxigênio permite reduzir ainda mais a carga de AOX (figura 2). Foi também verificado que há um efeito negativo relativamente à aptidão papeleira da pasta, de que um exemplo é a redução do índice de mão do papel, para o mesmo nível de resistência à tração (figura 3).

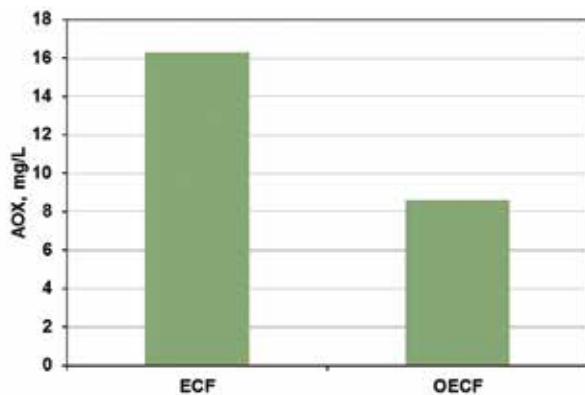


Figura 2.
Efeito do estágio de deslenhificação com oxigênio na produção de AOX.

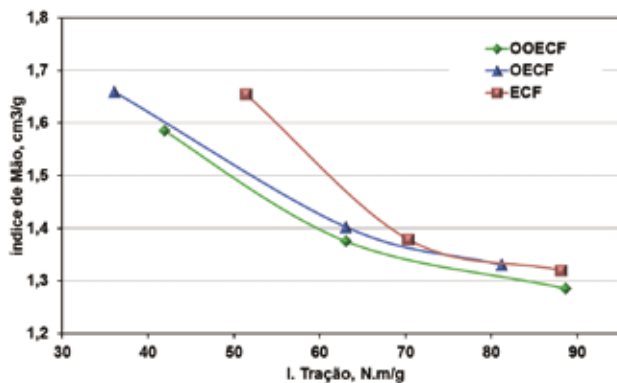


Figura 3.
Efeito do estágio de deslenhificação com oxigênio na aptidão papelreira da pasta (binómio índice de mão e resistência à tração).

Relativamente à sequência ECF ($D_0E_1D_1E_2D_2$) foram estudadas as cinéticas e estequiometrias de cada estágio, bem como a influência da temperatura e pH em cada uma (figura 4). Foi determinada a extensão ótima de deslenhificação no estágio D_0 (este estágio tem essencialmente, por objetivo, complementar a deslenhificação realizada no cozimento *kraft*, de forma a facilitar a remoção de cromóforos nos estágios D_1 e D_2). O controlo processual da D_0 deve ser dirigido para a obtenção do nível objetivo de grau de deslenhificação final, conhecendo-se o fator carga de dióxido de cloro/redução de índice kappa (medida do teor de lenhina residual), o que permite estabelecer a carga de oxidante a utilizar em função do índice kappa (grau de deslenhificação) da pasta crua (figura 5).

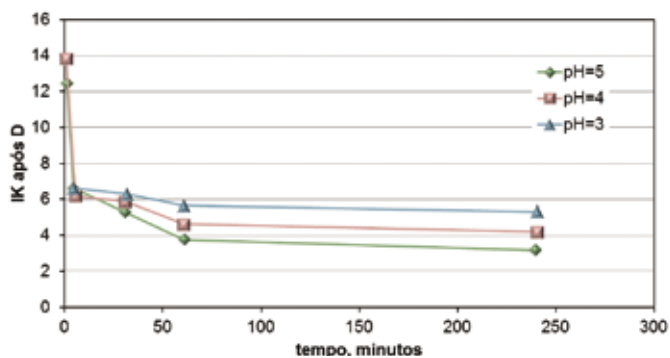


Figura 4.
Efeito do pH na cinética da D₀.

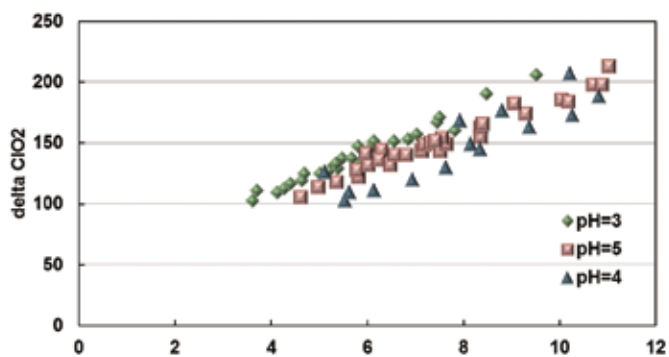


Figura 5.
Consumo de oxidante por unidade de redução de índice kappa.

Foi igualmente estudada a influência da alcalinidade na deslenhificação da primeira extração (figura 6).

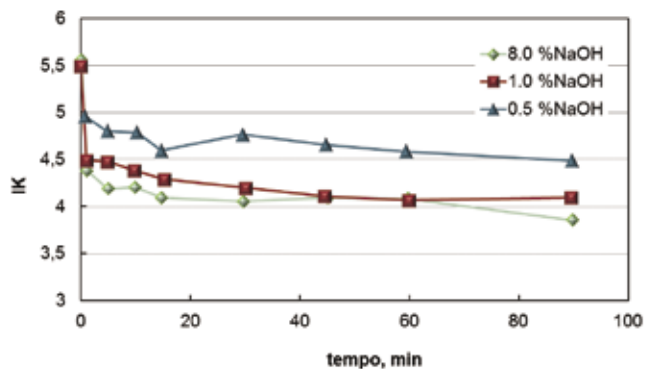


Figura 6.
Influência da alcalinidade na deslenhificação na primeira extração.

Nos estágios D_1 e D_2 dá-se a remoção dos cromóforos, promovendo-se o branqueamento da pasta até ao grau de brancura desejado e minimizando-se a sua reversão posterior por efeito de temperatura, humidade e tempo.

Foi estudada a influência da repartição da carga de dióxido de cloro entre os dois estágios de branqueamento (D_1 e D_2), tendo-se identificado a melhor repartição para minimizar o consumo de oxidante nestes dois estágios, garantindo o melhor desenvolvimento de brancura.

Globalmente foi estudada a otimização da sequência para minimização do consumo de oxidante, a partir de uma pasta crua de *E. globulus* com índice kappa 14 e para uma brancura final de 90% ISSO (figura 7).

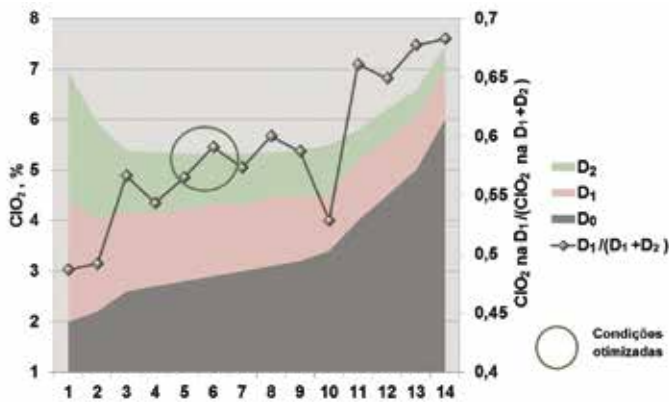


Figura 7. Resultados da otimização da sequência.

13

**OTIMIZAÇÃO DOS
SISTEMAS DE REFINAÇÃO
DE PASTA PARA A
PRODUÇÃO DE PAPÉIS DE
IMPRESSÃO E ESCRITA**

13 OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFINAÇÃO DE PASTA PARA A PRODUÇÃO DE PAPÉIS DE IMPRESSÃO E ESCRITA

A operação de refinação destina-se a promover nas fibras de celulose as condições estruturais e de resistência mecânica necessárias para a produção de papel.

O **RAIZ** estudou a influência da intensidade da refinação (denominada tecnicamente como carga específica de aresta e representando a quantidade de trabalho transmitida às fibras por unidade de comprimento das barras do refinador) no consumo de energia e no desenvolvimento das propriedades papeleiras.

O estudo foi inicialmente conduzido a nível laboratorial e piloto, tendo sido possível posteriormente testar os resultados à escala industrial, dado que, entretanto, foi desenvolvida tecnologia de produção de discos de refinadores com muito maior comprimento das barras, determinando uma redução significativa na intensidade de refinação. Destes estudos resultou:

- A verificação de uma redução do consumo de energia específica na refinação de cerca de 20% para os níveis médios de refinação utilizados na produção de papéis de impressão e escrita, reduzindo em cerca de 50% a intensidade e refinação;
- Paralelamente, verificou-se uma melhoria no binómio índice de mão/resistência à tração;
- A confirmação, a nível industrial, destes benefícios, utilizando discos de refinadores com elevado comprimento de corte que passaram a ser adotados nas operações das várias máquinas de papel do Grupo;
- O desenho das linhas de refinação da nova máquina de papel do complexo fabril de Setúbal (ATF), no sentido de ser operacionalmente possível trabalhar com um único refinador por linha, entrando em funcionamento o segundo refinador em série apenas quando uma baixa refinabilidade da pasta o exija, e assim poupando-se complementarmente o consumo de energia em vazio deste segundo refinador.

13 OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REFINAÇÃO DE PASTA PARA A PRODUÇÃO DE PAPEIS DE IMPRESSÃO E ESCRITA

estudo da influência da intensidade de refinação na eficiência e eficácia da operação

A operação de refinação da pasta consiste na transferência de energia mecânica para as fibras, através de fluxo de fibras entre elementos de refinação sob a forma de barras metálicas, conferindo às fibras um aumento de flexibilização (fibrilação interna), originando estruturas com uma maior resistência mecânica devido ao aumento da área de ligação (pontes de hidrogênio) entre fibras e o “esfacelamento” da superfície das fibras, originando o aparecimento de fibrilas (fibrilação externa). Estas fibrilas originam, igualmente, um aumento da área de ligação entre fibras e, deste modo, o aumento da resistência mecânica.

Uma outra consequência passa pela quebra/corte das fibras, nos casos de tratamentos muito prolongados. Este efeito tem consequências negativas na resistência intrínseca das fibras e da estrutura fibrosa produzida. Apenas para fibras longas e resinosas este efeito pode ter algumas vantagens.

Com a refinação são afetadas outras propriedades papelarias na estrutura fibrosa, algumas com vantagem, caso da melhoria da formação, resistência em húmido e superficial da folha, redução da porosidade interna e rugosidade da folha. Contudo, algumas das características estruturais da folha são afetadas negativamente, caso do aumento da massa volúmica e de forma inversa a redução do volume específico da estrutura, vulgo índice de mão, obrigando a uma maior incorporação de fibra (aumento da gramagem) em papéis com espessura definida (caso dos papéis de escritório), encarecendo o custo de produção. Associado ao índice de mão está a rigidez da estrutura da folha (maior índice de mão maior rigidez) com implicações na “runnability” da folha de papel, nomeadamente ao nível dos encravamentos nas fotocopiadoras. Outra propriedade associada ao índice de mão é a opacidade da folha, que tem importância no potencial de impressão em ambas as faces da folha, retirando maior eficiência da folha como veículo de informação.

O ajuste do binómio das características com evolução oposta na operação da refinação, aumento da resistência mecânica e redução do índice de

mão, terá de ser otimizado para cada tipo de fibra.

A espécie *Eucalyptus globulus*, possuindo uma relação confortável entre as dimensões da secção transversal da fibra (espessura da parede *versus* diâmetro da fibra - Coeficiente de Runkel) aceita, de forma exemplar, o esforço de tratamento mecânico da refinação para níveis adequados de resistência mecânica sem grande perda do índice de mão, quando comparada com fibras congêneres de outras espécies de *Eucalyptus* e de outras folhosas.

No entanto, as condições da refinação poderão ainda ser otimizadas, quer pelo critério do consumo de energia, quer pelo critério de maximização do índice de mão e opacidade para o mesmo nível de índice de tração e resistência em húmido (nível necessário para permitir altas velocidades da máquina de papel sem quebras).

A carga específica de aresta (*specific edge load*, SEL) - quantidade de trabalho transmitido às fibras por unidade de comprimento de barras do refinador - é uma medida da intensidade da refinação, constituindo a principal condição que influencia os resultados da operação de refinação para cada tipo de fibra.

O RAIZ estudou a influência da carga específica de aresta na refinação da pasta de *E. globulus* a nível laboratorial (refinador PFI) e à escala piloto (refinador de discos).

Os resultados mostraram as vantagens da refinação suave (valores mais baixos da carga específica de aresta) a nível do consumo de energia e, também, na otimização do binómio resistência à tração e índice de mão.

O primeiro estudo, realizado com a utilização do refinador de laboratório PFI, conduziu aos dados apresentados na figura 1.

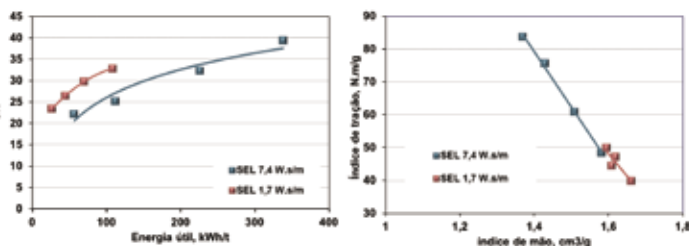


Figura 1. Desenvolvimento da refinação (drenabilidade da suspensão de pasta, °SR) e relação entre índice de mão e resistência à tração para dois níveis de carga específica de aresta no refinador PFI.

Os ensaios posteriormente realizados à escala piloto, com um refinador de discos, confirmaram os resultados obtidos no PFI (figura 2).

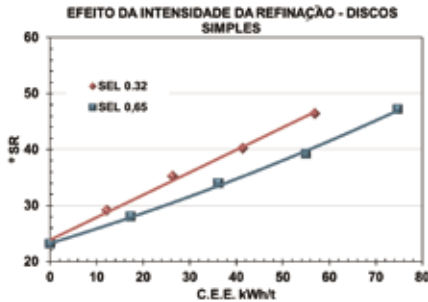


Figura 2.

Desenvolvimento da resistência à drenagem da pasta com refinador de disco à escala piloto para dois níveis de SEL (CEE - consumo específico de energia).

O desenvolvimento tecnológico (tecnologia laser) verificado entretanto na produção dos elementos de refinação conduziu à disponibilidade comercial de discos com barras de muito baixa espessura, (figura 3) com um aumento significativo do comprimento das arestas responsáveis pela transmissão de energia para as fibras e reduzindo, deste modo, a sua intensidade, abrindo a possibilidade de uma imediata aplicação industrial.



Figura 3.

Geometria das barras dos discos de refinadores. Geometria para SEL baixo (esquerda). Geometria tradicional das barras (direita).

Foram realizados ensaios de refinação à escala fabril, testando tecnologias de baixa intensidade nas duas fábricas de papel do Grupo. As várias condições de ensaio geraram amostras de pasta que foram caracterizadas para várias propriedades papeleiras, sendo os resultados analisados e discutidos com técnicos fabris.

Foram testadas várias configurações de guarnições de discos, originando diferentes comprimentos de corte e correspondente intensidade de refinação (W.s/m). Variaram ainda os níveis de consumo específico de energia útil de refinação (kWh/t) e as repartições de carga nos dois refinadores em série das linhas de refinação (figura 4).

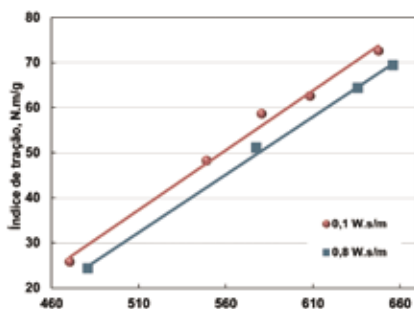


Figura 4.

Influência do nível de SEL no desenvolvimento da resistência à tração e densidade aparente (inversamente, índice de mão) da pasta refinada.

Confirmou-se a poupança significativa de energia com a utilização de valores mais baixos de carga específica de aresta.

Com base na redução do consumo específico de energia útil, verificou-se ainda a hipótese de se utilizar apenas um refinador por linha de refinação. Para além da redução do consumo de energia (energia útil e energia em vazio) verificou-se alguma melhoria da qualidade funcional da pasta refinada, nomeadamente na característica estrutural “mão” para os mesmos níveis de resistência mecânica (tração) do papel.

Como resultado, foi então possível definir uma configuração otimizada de refinação em série, baseada na aplicação de níveis de intensidade alta num primeiro refinador, seguida de refinação de baixa intensidade, com distribuição de energias de 50/50%. Esta configuração permite otimizar o nível de índice de mão para uma dada resistência mecânica.

Esta informação foi incorporada na definição dos sistemas de refinação da máquina de papel n.º 4 do Complexo Industrial de Setúbal.

14

**POTENCIAL PAPELEIRO
DAS FIBRAS**

14 POTENCIAL PAPELEIRO DAS FIBRAS

O **RAIZ** desenvolveu o estudo comparativo das características dimensionais (biometrias) das fibras das principais espécies de folhosas (fibras curtas) utilizadas para a produção de pastas papelarias, relacionando-as com propriedades funcionais dos papéis.

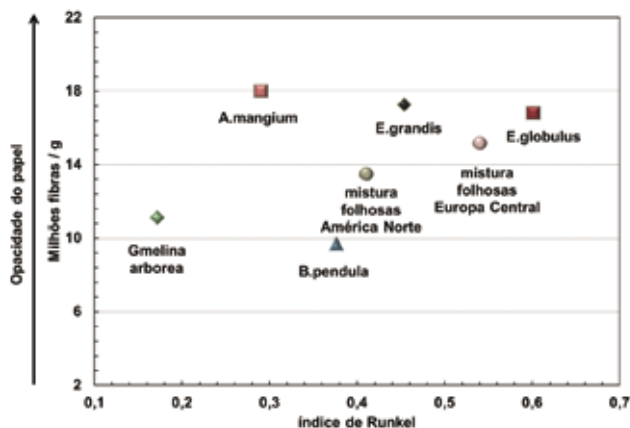
Este estudo permitiu:

- O desenvolvimento de um novo critério de qualidade das pastas para a produção de papéis de impressão e escrita, baseado em dois parâmetros:
 - O número de fibras por unidade de massa, que se relaciona com a estrutura/formação do papel, regularidade superficial e opacidade;
 - Um segundo parâmetro baseado na espessura das paredes na sua relação com a secção transversal das fibras. Este parâmetro avalia a rigidez das fibras, o que se relaciona com a porosidade e o índice de mão do papel (volume por unidade de massa);
- A classificação relativa das fibras das principais espécies, verificando-se a posição destacada da pasta de *E. globulus*;
- Foi complementarmente estudada a influência nas propriedades papelarias da refinabilidade da pasta de *E. globulus*, essencialmente determinada pelo nível de retenção das xilanas (principal constituinte das hemiceluloses) nos processos de cozimento e branqueamento: o maior teor de xilanas aumenta o carácter hidrófilo das fibras, contribuindo para mais elevados teores de água nas paredes das fibras, o que facilita o trabalho mecânico da refinação, tornando-se as pastas mais refináveis.

14 POTENCIAL PAPELEIRO DAS FIBRAS

estudo comparativo das biometrias das fibras de diferentes espécies e sua relação com as propriedades funcionais dos papéis

O estudo comparado das biometrias das fibras das espécies mais utilizadas para a produção de pastas papelarias, e das principais propriedades dos papéis de impressão e escrita, permitiu estabelecer novos critérios para a avaliação do potencial papelero de cada uma, conforme se apresenta na figura 1.



Índice de Runkel = $2 \times \text{espessura da parede da fibra} / \text{diâmetro do lúmen}$ (avalia a rigidez da fibra) = $2Xe/L$.

Secção transversal da fibra



Figura 1.

Índice de qualidade das pastas de madeiras de folhosas.

A posição de destaque ocupada pelas fibras de *E. globulus* evidencia as vantagens da utilização desta pasta, na produção de papéis de impressão e escrita, mesmo quando comparada com as outras espécies de eucalipto.

A rigidez das fibras, para além de ser essencialmente determinada pelas

dimensões da secção transversal, é influenciada pelo teor de hemiceluloses que aumenta a absorção de água e a flexibilidade das fibras.

Relativamente às fibras da pasta de *E. globulus* conhecem-se as condições processuais no cozimento e no branqueamento que determinam maior ou menor retenção das hemiceluloses, sendo assim possível adotar condições processuais de acordo com a qualidade da pasta pretendida.

No caso do cozimento *kraft* em digestor contínuo, o controlo da concentração de álcali na fase principal de cozimento (temperatura mais elevada) alcançado com a repartição da carga alcalina permite aumentar a retenção de hemiceluloses, aumentando o rendimento do cozimento e a refinabilidade da pasta (flexibilidade das fibras).

É assim possível estabelecer o compromisso desejado entre rendimento do cozimento e a qualidade da pasta.

Relativamente ao branqueamento, estudou-se o impacto da inclusão de uma deslenhificação com oxigénio na qualidade da pasta. A inclusão deste estágio aumenta a refinabilidade da pasta (figura 2).

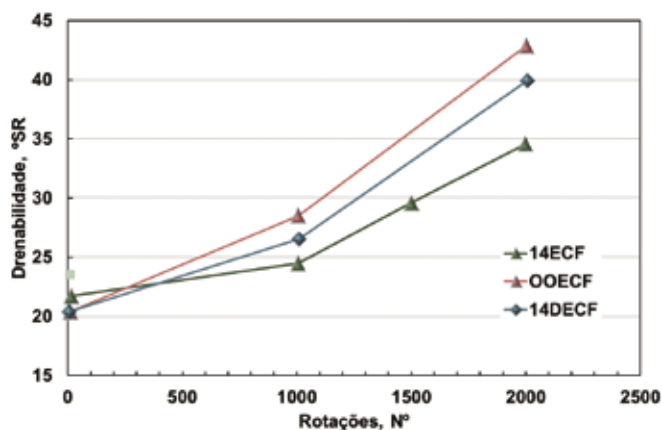


Figura 2.

Impacte na refinabilidade da pasta de *E. globulus* da inclusão de um ou dois estágios de deslenhificação com oxigénio.

O aumento da refinabilidade da pasta induz uma relação menos favorável entre o índice de mão e a resistência à tração ao longo da refinação (figura 3). Um efeito equivalente verifica-se entre a porosidade (medida pela resistência ao ar *Gurley*) e a resistência à tração (figura 4).

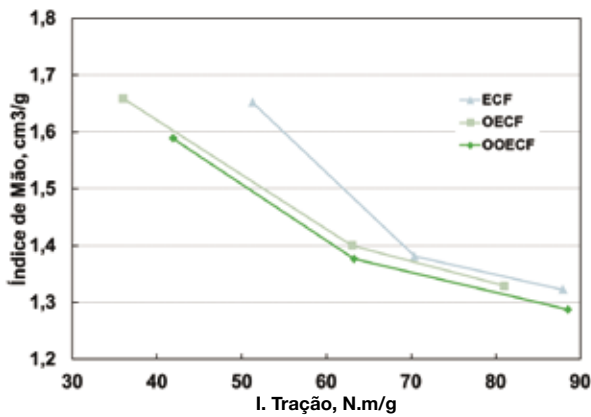


Figura 3.

Relação entre o índice de mão e a resistência à tração para pastas de *E. globulus* com e sem deslenhificação com oxigênio.

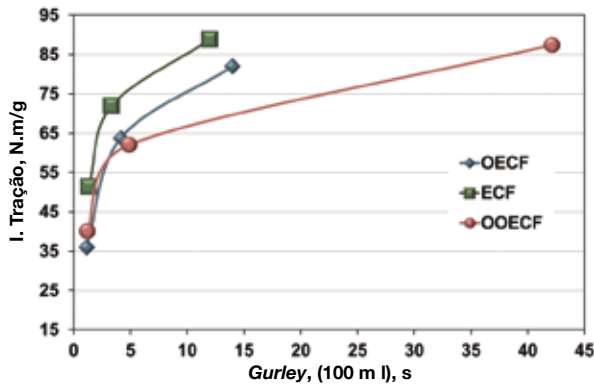


Figura 4.

Relação entre a resistência à tração e a porosidade (Gurley) para pastas de *E. globulus* com e sem deslenhificação com oxigênio.

Pastas muito refináveis podem ainda originar problemas de estabilidade dimensional dos papéis produzidos e dificultar o controlo da operação de refinação, que deve ser otimizada para o nível de resistência em húmido necessário para uma boa *runnability* (ausência de quebras da folha) da máquina de papel, de modo a preservar o índice de mão.

A pasta de *E. globulus* tem também características únicas para a produção de papéis decorativos para a indústria dos laminados, como revestimentos para a produção de painéis destinados à construção civil e mobiliário.

Para a produção de papéis *décor* é fundamental a boa aptidão para a impressão, a uniformidade da superfície e a opacidade que permite reduzir a incorporação de dióxido de titânio.

O elevado número de fibras, por unidade de massa da pasta de *E. globulus*, contribui para uma opacidade elevada do papel, uma boa lisura e uniformidade da superfície.

Adicionalmente, uma distribuição do comprimento das fibras mais apertada quando comparada com pastas de outras fibras curtas (figura 5), contribui para uma maior uniformidade da superfície do papel e da sua porosidade.

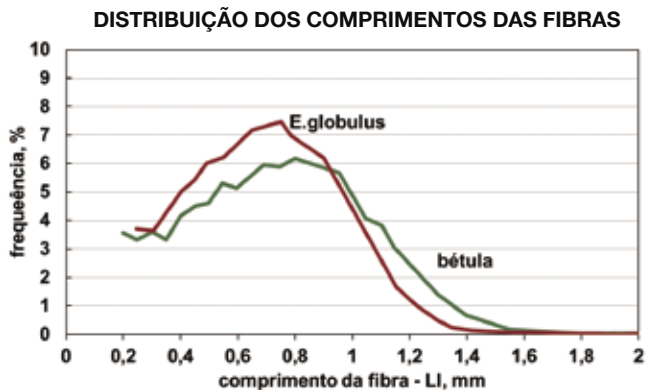


Figura 5. Distribuição do comprimento das fibras em pastas de *E. globulus* e de bétula.

Na produção de papéis *décor* é também fundamental uma elevada resistência em húmido e, uma alta absorção capilar, para garantir boas condições de *runnability* na operação de impregnação com resinas do papel impresso.

A relação mais favorável entre a porosidade da folha (resistência ao ar *Gurley*) e a resistência à tração dos papéis, produzidos com pasta de *E. globulus*, evidencia a vantagem relativa desta espécie para a produção de papéis *décor* (figura 6).

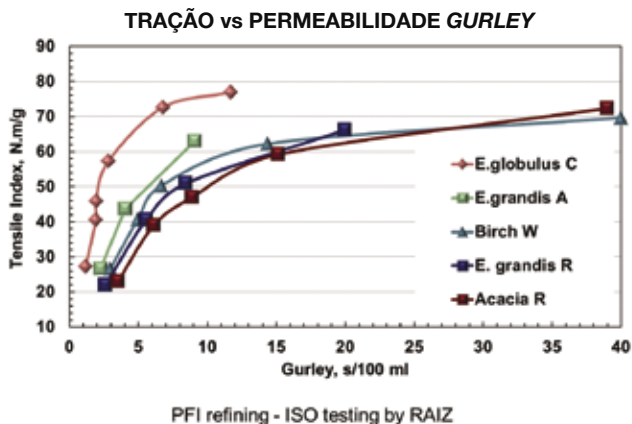


Figura 6. Resistência à tração e porosidade do papel para pastas de diferentes folhosas.

A rápida ascensão capilar da fase aquosa nas estruturas fibrosas dos papéis laminados, produzidos com fibra de *E. globulus* (figura 7), permite uma rápida absorção das resinas utilizadas no seu fabrico criando, deste modo, condições para aumento dos ritmos de produção.

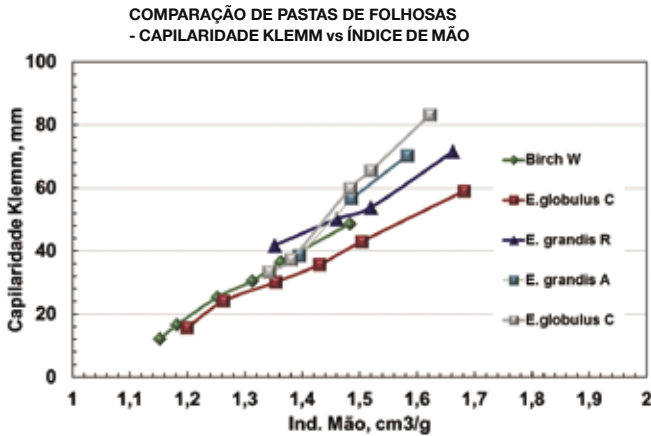


Figura 7.
Capilaridade Klemm para papéis produzidos com pastas de diferentes folhosas.

Igualmente, as relações mais favoráveis entre resistência à tração, índice de mão, porosidade e absorção capilar para os papéis produzidos com pastas de *E. globulus* determinam a vantagem relativa das pastas desta espécie para a produção de papéis *tissue*.

15

**INTERAÇÃO TINTA-PAPEL
NA IMPRESSÃO JATO DE
TINTA**

15 INTERAÇÃO TINTA-PAPEL NA IMPRESSÃO JATO DE TINTA

O estudo dos fenómenos de interação entre a tinta e o papel, no processo de impressão jato de tinta e a sua influência na qualidade de impressão percebida, constituiu uma atividade muito relevante do **RAIZ** no desenvolvimento de conhecimento útil para o Grupo no domínio da qualidade e inovação dos produtos papeleiros.

Os estudos foram desenvolvidos em estreita colaboração com as Universidades de Aveiro (Departamento de Química), Beira Interior (Faculdade de Ciências, Departamentos de Química e Física) e Coimbra (Departamento de Engenharia Química da FCTUC) e com o acompanhamento de técnicos da Produção e da Qualidade dos Produtos da **The Navigator Company**. As atividades desenvolvidas e os principais resultados foram os seguintes:

- Desenvolvimento e validação de um modelo de avaliação da qualidade da impressão baseado em parâmetros técnicos, a fim de ser possível a sua quantificação;
- Estudo dos fenómenos de interação das tintas com o papel, identificando os parâmetros morfológicos e químicos da superfície com influência na qualidade final da impressão, conhecimento fundamental para o desenvolvimento de papéis com aptidão mais elevada para a impressão jato de tinta;
- Estudo à escala piloto de tratamentos da superfície do papel que contribuam para melhorar aptidão à impressão.

15 INTERAÇÃO TINTA-PAPEL NA IMPRESSÃO JATO DE TINTA

Para o desenvolvimento do modelo de avaliação da qualidade de impressão foi definida uma máscara de impressão (figura 1) que permitisse, por um lado, avaliar os diferentes parâmetros técnicos da qualidade de impressão e, por outro, dispor de imagens complexas para avaliação subjetiva da qualidade (qualidade percebida).



Figura 1.
Máscara de impressão.

Foram selecionadas 5 impressoras, cobrindo uma gama de variação de resultados na reprodução de cor e no trespasse de tinta na folha e um grupo de 20 amostras de papel, cobrindo a gama possível de variação de tipos.

Foi possível identificar os parâmetros técnicos da qualidade de impressão com maior contributo para a qualidade percebida e assim estabelecer um modelo de avaliação.

As impressões nas diferentes amostras de papel, utilizando as cinco impressoras *inkjet*, foram submetidas a um painel de avaliação a fim de validar o modelo.

Na figura 2 apresenta-se o modelo de avaliação da qualidade de impressão, com indicação dos parâmetros técnicos e do seu peso relativo, que foi desenvolvido estatisticamente a partir de todos os resultados obtidos sendo, finalmente, validado pelo painel de avaliação (igual posicionamento relativo da qualidade de impressão).

Contributo relativo dos parâmetros técnicos da qualidade de impressão no modelo da avaliação por painel					
PARÂMETROS INCLUÍDOS NA MÁSCARA IJtarget 12 RGB		MODELO PE067 - INTERAÇÃO TINTA		PROPOSTA	PESO RELATIVO
		%			%
Área Gamut (gráfico a*, b* de 6 cores)		20,2	0,236	1	18,4
Densidades Ópticas de Impressão	Preto	12,2	0,143	9	5,7
	Ciano	-	-	2	13,6
	Magenta	16,1	0,188	4	11
	Amarelo	17,4	0,203	3	12,5
Pontos Magenta	Circularidade	-6,5	-0,076	5	7,6
Pontos Pretos	Circularidade	2	0,023	8	5,8
Linha Preta Horizontal	Rag	-6	-0,0700	7	5,8
<i>Intercolor Bleed</i> - Linhas Horizontais	<i>Intercolor Bleed</i>	-17,1	-0,2000	6	5,8
Print Through - Trespasse	bk RGB [0,0,0]				
	bk RGB [1,1,1]				

Figura 2. Modelo de avaliação da qualidade de impressão.

Nos parâmetros técnicos (figura 3) incluem-se as densidades óticas das cores das quatro tintas usadas (preto, ciano, magenta e amarelo), a circularidade dos pontos magenta e preto, a “raggedness” da linha preta horizontal, o “intercolour bleed” e a área gamut.

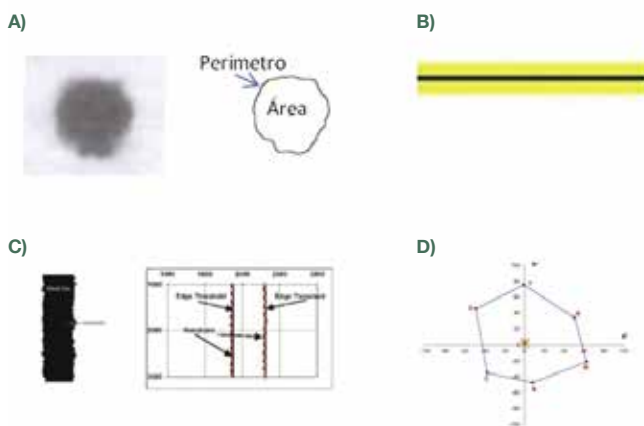


Figura 3.

Parâmetros técnicos da qualidade de impressão.

A) Circularidade do ponto = $(\text{perímetro})^2$

B) Linha preta sobre fundo amarelo. *Intercolor bleed*: área de tinta preta sobreposta ao fundo amarelo para além dos limites ideais da linha.

C) *Raggedness* da linha = desvio padrão do residuo a partir de uma linha ajustada ao limite ideal da linha.

D) Área gamut: Área do polígono formado pelas coordenadas a,b das cores base das tintas (magenta, ciano, amarelo) e das cores compostas azul, verde, vermelho. Quanto mais elevada maior a capacidade de discriminação das cores.

Relativamente à capacidade de reprodução da cor, a análise estatística multivariável das 100 impressões (20 papéis e 5 impressoras) revelou uma gama de variação significativa, obviamente também nos resultados do painel de avaliação.

Ficou assim a dispor-se de um conjunto de amostras interessante para estudar os fenómenos de interação tinta-papel e identificar os parâmetros da qualidade do papel que influenciam a qualidade da impressão. Como a qualidade das tintas também é distinta, foi necessário ter este aspeto em consideração no referido estudo.

Nos papéis existem variáveis físicas e químicas que influenciam a interação com a tinta, particularmente a microtopografia e a energia livre de superfície. A energia livre de superfície, em combinação com a tensão superficial da tinta, determina o ângulo de contacto (figura 4) que, por sua vez, determina as velocidades de penetração e espalhamento para as condições existentes de microrugosidade e microporosidade.



Figura 4.

Energia livre da superfície sólida, tensão superficial do líquido e ângulo de contacto.

A perfilometria ótica 3D foi utilizada para caracterizar a microtopografia e microporosidade da superfície dos papéis (figura 5), o que permitiu verificar a sua influência na qualidade da impressão.

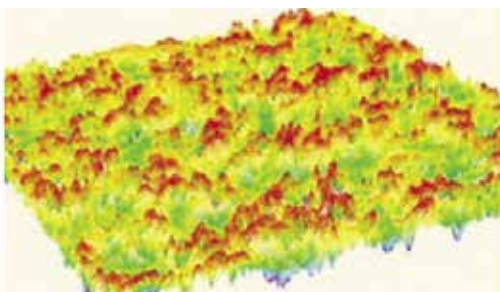


Figura 5.

Perfilometria 3D da superfície do papel.

A partir do levantamento da microtopografia da superfície do papel são calculados vários parâmetros, nomeadamente de amplitude (altura média de picos, profundidade média de vales), espaciais (densidade de picos por unidade de área), de porosidade (diâmetro médio e volume médio dos poros).

A variabilidade das características das amostras de papéis selecionadas ajudou a encontrar as relações dos parâmetros físicos e químicos da superfície com a qualidade da impressão. Estas relações dependem também da impressora e tintas utilizadas pois, a impressora determina, por exemplo, o volume da gota individual de tinta e o número de gotas por unidade de tempo; quanto às tintas podem ser de pigmentos ou de corantes (normalmente as tintas pretas são de pigmentos e as de cor são de corantes). Para além disso, a tensão superficial das tintas também é diferente para distintas marcas, influenciando o ângulo de contacto e as velocidades de penetração e espalhamento.

Com o objetivo de aprofundar o estudo da influência da química de superfície na qualidade da impressão jato de tinta foram executados diversos tratamentos superficiais de papel, numa Size-press piloto, com formulações concebidas para melhoria da qualidade de impressão jato de tinta (figura 6).



Figura 6.
Size-press.

O Centro de Ótica da Universidade da Beira Interior desenvolveu um sistema ótico (figura 7) que permite acompanhar em tempo real a interação entre a gota de tinta e a superfície do papel, sendo determinados alguns parâmetros descritores (figura 8) e dispor de informação precisa sobre a interação tinta-papel para cada par.



Figura 7.
Sistema ótico para estudo da interação tinta-papel.

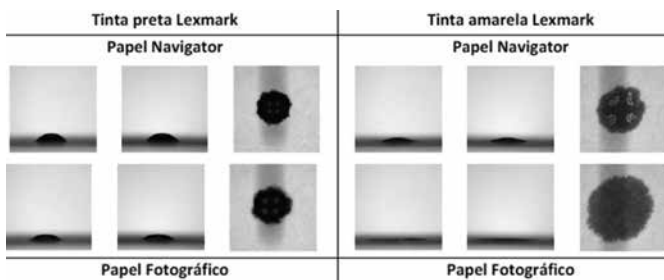


Figura 8.
 Imagens da evolução da gota de tinta após impacto na superfície do papel.

16

**A INDÚSTRIA DE PASTA E
PAPEL E O AMBIENTE**

16 A INDÚSTRIA DE PASTA E PAPEL E O AMBIENTE

As emissões de poluentes para a água e o ar - resultantes dos processos de produção de pastas papeleiras - dependem das tecnologias adotadas mas, também, das matérias-primas utilizadas. A nível da União Europeia são atualmente estabelecidos limites de emissão para a maior parte dos setores industriais baseados na adoção das melhores tecnologias disponíveis.

O **RAIZ** tem estudado os impactes ambientais das tecnologias disponíveis para o caso do *E. globulus*, identificando e caracterizando as especificidades da espécie. O **RAIZ** tem, também, vindo a desenvolver e a adaptar ferramentas avançadas de gestão ambiental à realidade industrial do setor nacional. O conhecimento desenvolvido permitiu:

- Confirmar o nível mais baixo de emissões de matéria orgânica (CQO) e de compostos halogenados (AOX) na produção de pasta branca de *E. globulus* quando comparados com outras espécies de folhosas;
- Esta caracterização foi fundamental para a contribuição do **RAIZ** na elaboração, bem como na sua primeira revisão, do documento europeu de referência (BREF), onde são estabelecidos os limites de emissão de poluentes e as melhores tecnologias a adoptar. O **RAIZ** participou nas abordagens a nível da CEPI (Confederation of European Paper Industries), bem como como em contribuições diretas junto do Grupo de Trabalho Técnico que preparou o documento (2001) e realizou a sua primeira revisão (2014);
- Fundamentar o nível mais elevado de emissões de fósforo para o *E. globulus*, decorrente dos teores superiores deste nutriente na madeira desta espécie, o que permitiu que este facto fosse considerado na definição dos critérios de atribuição do rótulo ecológico aos produtos papeleiros correspondentes;
- Dispor de uma ferramenta para cálculo da pegada de carbono, adaptada à realidade nacional do setor e de uma metodologia alternativa mais rigorosa, ao conceito inicial desenvolvido pela Universidade de Twente, para o cálculo da pegada da água, e que tem sido muito relevante nas discussões internacionais sobre este tema.

16 A INDÚSTRIA DE PASTA E PAPEL E O AMBIENTE

participação do RAIZ na regulamentação do Controlo Integrado e Prevenção de Poluição

A regulamentação ambiental na União Europeia, tendo como objetivo, no caso das unidades industriais, minimizar as emissões para a água, o solo e o ar, dentro de um quadro que mantenha as condições de concorrência entre as empresas, veio a ser estabelecida pela Diretiva 96/61/CE sobre a prevenção e controlo integrado da poluição (IPPC), com a consequente definição dos Valores de Limite de Emissão baseados na adoção e correta implementação de um conjunto adequado de Melhores Técnicas Disponíveis específicas para cada setor. Deste modo, são desenvolvidos documentos de referência (BREF) onde são identificadas, caracterizadas e avaliadas as Melhores Técnicas disponíveis (MTD), estabelecendo os níveis de emissão associados que determinarão os valores limite de emissão (VLE) em todas as unidades industriais do setor.

No caso do setor da Pasta e Papel, os níveis de emissão decorrem obviamente das tecnologias adotadas, mas a utilização de matérias-primas naturais com a sua própria variabilidade de características influencia igualmente os níveis alcançáveis.

O desenvolvimento do conhecimento nesta área é essencial para poder intervir, de forma fundamentada, nos fóruns internacionais de discussão a fim de garantir, por um lado, a consideração das especificidades do *E. globulus* como matéria-prima. E por outro, que as conclusões sobre as Melhores Técnicas Disponíveis reflitam o investimento contínuo do setor, em termos de melhoria de desempenho ambiental, sem conduzir a níveis de emissão tão exigentes que levem à rutura dos ciclos naturais de investimento e coloquem em risco o equilíbrio financeiro e viabilidade do setor.

O RAIZ participou na elaboração da primeira versão do BREF para o setor, publicado em 2001, bem como na primeira revisão, concluída em 2014, integrando os grupos de trabalho da CEPI - Confederation of European Paper Industries e da própria elaboração do documento.

estudo de impactes de especificidades do *E. globulus*

emissões de fósforo

As unidades de produção de pasta que utilizam madeira de *E. globulus*, na região da Ibéria, apresentam teores muito superiores de emissão de fósforo devido aos elevados níveis naturais deste nutriente em madeiras desta espécie. Caso esta especificidade não fosse atendida no documento de referência, ter-se-ia que recorrer a tratamentos terciários, para garantia dos níveis de P de acordo com os níveis de emissão associados à MTD (NEA - MTD).

O **RAIZ** recolheu e tratou dados concretos que comprovam os elevados teores de P na madeira de *E. globulus*, na Ibéria, quando comparada com teores de outros tipos de madeira e até de eucalipto de outras geografias - Estudos de teores de P nas madeiras e estudos de nutrição florestal. Foram realizados balanços detalhados de P, nas fábricas da **The Navigator Company**, que comprovam que a origem do P descarregado para efluente final é a madeira e não corresponde a outras entradas materiais.

As conclusões MTD incluem gamas específicas para emissão de fábricas que produzem pasta a partir de madeira de eucalipto com elevados teores de fósforo.

emissões de CQO e AOX

Devido ao comportamento muito favorável da madeira e pasta de *E. globulus* no cozimento e branqueamento (elevado rendimento e branqueabilidade) as unidades que utilizam esta espécie apresentam emissões reduzidas de CQO e AOX, mesmo sem recorrer a etapas adicionais de deslenhificação por O₂.

Dado este comportamento foram propostas, durante o processo de preparação do documento, gamas para CQO e AOX mais restritivas para o Eucalipto. As gamas finais poderiam conduzir à obrigatoriedade de instalação de deslenhificação por O₂ por motivos de desempenho ambiental.

Os estudos detalhados de cozimento, branqueamento e deslenhificação por O₂ - realizados pelo **RAIZ** - permitiram a verificação que o desempenho

ambiental deve-se, apenas, às características de eficiência da madeira e pasta nestes processos.

Esta informação foi complementada com a análise de dados fabris que comprovam, à escala industrial, os resultados obtidos, e pela elaboração de balanços detalhados que permitiram verificar que os valores finais obtidos se deviam, também, ao facto de se tratarem unidades integradas de produção de pasta e papel.

As conclusões MTD apresentam, apenas, gamas gerais para todos os tipos de madeira atingíveis recorrendo a um branqueamento clássico 5 fases ECF, evitando-se assim o investimento em unidades de deslenhificação por O₂ apenas por motivos ambientais.

ferramentas avançadas de gestão ambiental

O **RAIZ**, desde a sua origem, considerou que o domínio e aplicação de ferramentas avançadas de gestão ambiental é uma área estratégica para conhecimento do impacto global da atividade, assim como uma ferramenta rigorosa para intervenção nos fóruns de decisão e regulamentação ambiental pois, permite o desenvolvimento de normas ou referências equilibradas e evita a discricionariedade de aplicação das mesmas que não tenham fundamentos de redução de impacto ambiental.

Deste modo, em estreita colaboração com a Universidade de Aveiro (UA), o **RAIZ** desenvolveu o primeiro estudo de análise de ciclo de vida do papel de impressão e escrita, produzido em Portugal e comercializado no centro da Europa. O estudo seguiu com rigor todas as normas ISSO relativas a esta ferramenta, assim como incluiu as recomendações e experiência dos centros de maior desenvolvimento deste tipo de instrumentos. Por último, de referir o cuidado na qualidade de informação e base de dados utilizados.

Neste domínio, e novamente em colaboração com a UA foi, mais uma vez, pioneiro no desenvolvimento de uma ferramenta informática para o cálculo da pegada de carbono de produtos papeleiros.

De referir ainda que, no domínio da pegada da água, o **RAIZ/UA** têm tido um papel determinante na análise crítica de metodologias propostas que, partindo de uma má conceptualização, conduzem a uma imagem errada sobre o real impacto do setor sobre o recurso água. Para além da crítica, ambas as entidades têm contribuído com propostas e alternativas metodológicas que, permitem a avaliação correta do impacto sobre o recurso água, para possa ser utilizado como uma ferramenta de comunicação de desempenho ambiental.

17

**BIORREFINARIA NA
INDÚSTRIA DE PASTA
*KRAFT***

17 BIORREFINARIA NA INDÚSTRIA DE PASTA *KRAFT*

O desenvolvimento de processos para valorização de correntes processuais de uma determinada fileira industrial, com o objetivo de minimizar a quantidade de resíduos e integrar subprodutos em novas cadeias de valor, obtendo produtos de maior valor acrescentado na perspetiva da Economia Circular, é fundamental para assegurar a sustentabilidade económica e ambiental. A indústria de produção de pasta e papel, utilizando uma matéria-prima renovável, está particularmente bem posicionada na perspetiva da Economia Circular, explorando o conceito de biorrefinaria, no sentido de produzir químicos, materiais e combustíveis a partir da biomassa ou de correntes do processo, substituindo produtos atualmente obtidos a partir do petróleo.

O **RAIZ**, em colaboração com as Universidades de Aveiro e Coimbra e outras Instituições do Sistema Científico, tem desenvolvido vários projetos com o objetivo de identificar e estudar oportunidades de valorização de componentes da madeira de *E. globulus*:

- Produção e valorização de açúcares: para além do bioetanol, produção de ácido láctico, monómero de polímero de grande utilização, PHB (biopolímero polihidroxibutirato);
- Conversão de lenhina a produtos de maior valor: exemplo, espumas rígidas de poliuretano;
- Xilana como material precursor de filmes: a partir da xilana de pasta de *E. globulus* produziu-se um material transparente, não-elástico e insolúvel em água com excelentes propriedades barreira;
- Lamas primárias como fonte de açúcares para bioetanol: foi desenvolvido um processo que, numa única etapa, congregando a sacarificação enzimática das fibras e a fermentação dos açúcares produzidos, permite obter uma solução de etanol, não sendo necessário eliminar a carga de inorgânicos do processo de produção de pasta presentes nas lamas.

17 BIORREFINARIA NA INDÚSTRIA DE PASTA *KRAFT*

produção e valorização de açúcares

No âmbito do projeto BioBlocks, para além da madeira de *E. globulus* foram utilizados, para estes estudos, outros tipos de biomassa, em particular os diferentes resíduos da exploração florestal. Após um processo de desconstrução da biomassa (o cozimento *kraft* na maioria dos casos) estudou-se a aplicação de uma hidrólise enzimática para a conversão completa dos polissacarídeos constituintes dos materiais processados em monossacarídeos.

Foram realizados, com sucesso, vários trabalhos para estudar a viabilidade de utilizar as soluções hidrolisadas de monossacarídeos para a produção de ácido láctico, para além de etanol, composto de elevado valor comercial que é utilizado como monómero base de poli (ácido láctico) e para produção de lactato de etilo, produto da esterificação entre o ácido láctico e etanol.

Realizaram-se testes para produção de PHB (biopolímero polihidroxibutirato) com os hidrolisados produzidos a partir de diferentes materiais lenhocelulósicos (figura 1). Foram ainda estudados vários processos microbianos para produção de materiais renováveis, por exemplo, polihidroxialcanoatos, a partir de hidrolisados da pasta *kraft* de *E. globulus*.



Figura 1.
Polihidroxibutirato produzido a partir de hidrolisados.

conversão de lenhina em produtos de maior valor

Para a completa valorização de biomassa florestal no projeto BioBlocks é necessário considerar também a fração líquida produzida, nos processos de deslenhificação associados à biorrefinaria cujo principal componente, tal como no caso do licor *kraft* industrial, é lenhina.

A lenhina dos materiais lenhocelulósico é parcialmente despolimerizada e solubilizada no licor de cozimento. A concentração desta, no licor negro e a estrutura modificada que apresenta, são o resultado da quantidade e da estrutura da lenhina nativa no material, bem como das condições de cozimento aplicadas.

No âmbito de um projeto em colaboração com a NVG e **RAIZ**, a faculdade de Engenharia da Universidade do Porto realizou a despolimerização oxidativa parcial da lenhina com O_2 , utilizando diretamente o licor *kraft* industrial (aproveitando o meio alcalino, necessário à reação) e utilizando a lenhina previamente isolada (Figura 2), com o objetivo de produzir um conjunto de compostos fenólicos monoméricos, entre os quais, seringaldeído e vanilina. Estes compostos são intermediários de síntese de fármacos, aromatizantes e aditivos utilizados em diversos produtos de elevado consumo, pelo que esta é uma via de valorização de elevado interesse.

A oxidação da lenhina gera, também, oligómeros e frações de lenhina de maior massa molecular, as quais não são suscetíveis de despolimerização. É possível separar estas frações (lenhina oxidada isolada (Figura 2) dos monómeros, a partir da mistura resultante da oxidação, de forma a que sigam vias de conversão diferentes, assegurando a valorização completa da lenhina.

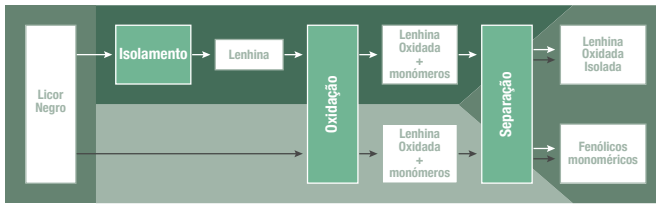


Figura 2.

Diagrama base do processo de valorização de lenhina considerando duas abordagens: oxidação direta do licor *kraft* e oxidação de lenhina previamente isolada de materiais florestais.

A lenhina isolada do licor negro (não oxidada) e a lenhina isolada oxidada foram utilizadas na produção de 4 séries de polióis pelo processo de oxipropilação. Os polióis obtidos apresentaram propriedades adequadas para a produção de espumas rígidas de poliuretano, tendo sido produzidas espumas com teores de polioliol de base lenhina na gama de 50 e 100% (figura 3).



Figura 3.

Espumas rígidas de poliuretano produzidas a partir de lenhinas *Kraft*.

xilana como material precursor de filmes

A xilana, extraída a partir da pasta *kraft* branqueada de *E. globulus*, foi sujeita a modificação química e bioconjugação para produção de filmes, avaliando-se as propriedades físico-químicas, barreira, mecânicas e óticas.

Em parceria com a Universidade de Aveiro a partir da xilana de pasta de *E. globulus* produziu-se um material transparente, não-elástico e insolúvel em água com excelentes propriedades barreira. Este material pode ser considerado na embalagem de alimentos, em cosméticos, entre outras aplicações de elevado valor comercial. Foi ainda testado o revestimento de papel com filmes de xilanas, conseguindo-se propriedades barreira promissoras, como diminuição da permeabilidade ao vapor e a gorduras, que aumentam assim o espectro de aplicação deste material.

lamas primárias como fonte de açúcares para produção de bioetanol

O tratamento de efluentes, gerados na indústria de pasta e papel, consiste na remoção dos sólidos suspensos (tratamento primário) e posterior eliminação dos sólidos orgânicos dissolvidos (tratamento secundário). Do tratamento primário do efluente resulta a segregação de um resíduo sólido, constituído por fibra perdida nas diferentes fases do processo, outro material orgânico em suspensão, sólidos inorgânicos provenientes da área de recuperação e cargas inorgânicas utilizadas na produção de papel, como por exemplo, o carbonato de cálcio.

Devido ao elevado conteúdo em hidratos de carbono (celulose e hemicelulose), estes resíduos, podem ser valorizados, através da sua conversão em produtos de maior valor por hidrólise química ou enzimática, para a produção de açúcares fermentáveis (maioritariamente glucose e xilose).

Este trabalho de valorização de lamas primárias foi realizado em colaboração com a Universidade de Coimbra, usando como caso de estudo a produção de bioetanol. Foi estudada a produção de etanol pelo processo hidrólise e fermentação separadas (SHF) e hidrólise (também designada por sacarificação) e fermentação simultâneas (SSF) (Figura 4).

A produção de etanol pelo processo SSF foi possível, sem necessidade de qualquer pré-tratamento para remoção de inorgânicos das lamas, pelo que apresenta uma viabilidade técnico-económica interessante.

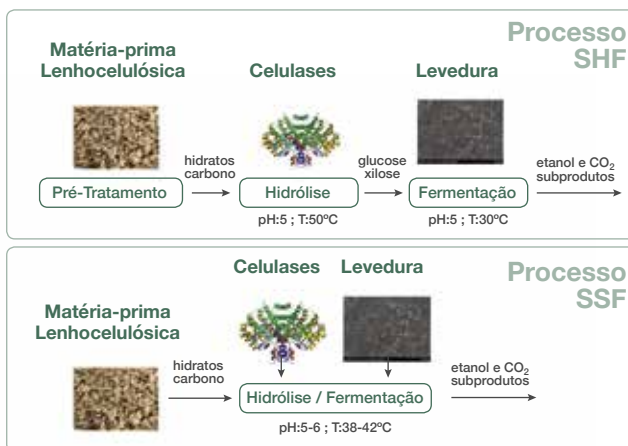


Figura 4. Processo tradicional (SHF) e novo processo (SSF) de produção de etanol a partir das lamas primárias do processo kraft de produção de pasta.

18

**COMPOSTOS BIOATIVOS
DA MADEIRA E BIOMASSA**

18 COMPOSTOS BIOATIVOS DA MADEIRA E BIOMASSA

O **RAIZ**, em estreita colaboração com as Universidades da rede, tem vindo a desenvolver trabalho de identificação e estudo de oportunidades de criação de valor, a partir da madeira de eucalipto e dos processos de produção de pasta e papel, numa abordagem integrada no conceito de biorrefinaria.

A casca e as folhas de eucalipto contêm diversos compostos orgânicos - com elevado valor de mercado - que podem ser obtidos por extração, nomeadamente compostos monoterpênicos, triterpênicos e polifenólicos, sendo utilizados pela indústria de cosmética, nutracêutica, farmacêutica e de alimentação animal.

O trabalho desenvolvido na área da extração de compostos com elevado valor de mercado a partir da casca e das folhas do *E. globulus* conduziu aos seguintes resultados:

- Desenvolvimento de processos de extração e purificação de compostos triterpênicos presentes na casca do eucalipto, em particular do ácido ursólico, que tem interessantes propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias. Estes processos foram registados, em patente, em nome da Universidade de Aveiro e do **RAIZ**;
- Desenvolvimento de um processo de extração e fracionamento de compostos fenólicos a partir da casca do eucalipto. Os compostos principais pertencem à classe dos taninos cuja utilização pode ser curtume das peles e a produção de resinas sintéticas e adesivos. Foram ainda extraídos compostos pertencentes à família dos flavonóis que têm propriedades anti-tumorais, anti-mutagénicas, anti-inflamatórias, antibacterianas e antioxidantes;
- Otimização de processos de extração de óleos essenciais das folhas do eucalipto. O óleo de eucalipto, extraído das folhas do *E. globulus*, apresenta como principal constituinte o 1,8 cineol. A produção de compostos monoterpênicos, obtidos a partir de óleos essenciais de eucalipto, pode representar uma oportunidade de mercado interessante.

18 COMPOSTOS BIOATIVOS DA MADEIRA E BIOMASSA

compostos triterpênicos

Os compostos triterpênicos têm propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias.

No âmbito do projeto BIIPP (Biorrefinaria Integrada na Indústria de Pasta e Papel) procurou-se extrair seletivamente e purificar estes compostos, realizando-se extrações com solvente orgânico, extrações com CO₂ supercrítico e desenvolvendo-se, adicionalmente, um processo de fracionamento. A extração com n-hexano permite obter um rendimento de extrato de 1,6% (m/m). Após o fracionamento, o rendimento é de 0,6% (m/m) apresentando um teor mínimo em ácidos triterpênicos de 97.8% e de 52,4% em ácido ursólico (distribuição na Tabela 1).

	Total Triterpênicos	Ácido Ursólico	Ácido Oleanólico	Ácido Betulónico	Ácido Betulínico
Extrato Bruto (%)	49,1	14,4	5,7	5,3	5,1
Extrato Purificado (%)	97,8	52,4	17,3	13,2	9,7

Tabela 1. Comparação dos extratos obtidos com n-hexano, antes e após purificação.

A extração da casca do eucalipto foi, paralelamente, tema de estudo num consórcio internacional, no âmbito do Projeto AFORE, que também incluiu a UA, tendo-se aí desenvolvido a extração supercrítica com CO₂, considerada uma tecnologia ambientalmente mais sustentável comparativamente com a extração com solventes orgânicos, como o diclorometano e n-hexano. Os rendimentos de extração obtidos situam-se entre 0,5 e 1,8% de acordo com as condições, sendo que o mais elevado foi obtido a 160 bar com 8% de etanol com um teor de triterpênicos de ~ 6 g/kg, semelhante ao obtido com n-hexano. No decurso do projeto foram realizados ensaios de *scale-up*.

No decurso do trabalho do BIIPP foram avaliadas as cascas de outras espécies de eucalipto como fontes destes compostos através de extração com diclorometano. Os resultados resumem-se na figura 1, onde se conclui que a casca de *E. nitens* pode também ser uma fonte promissora destes compostos, embora possua menor percentagem relativa de um dos triterpenos, o ácido ursólico, do que o *E. globulus*.

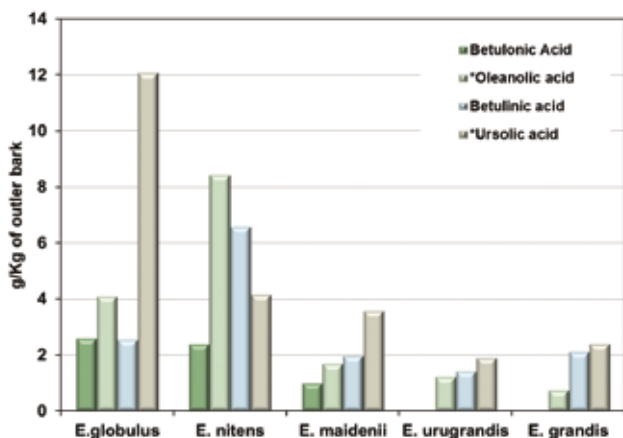


Figura 1. Abundância dos principais ácidos triterpénicos nos extratos em diclorometano das cascas externas das diferentes espécies de eucalipto estudadas.

compostos fenólicos

Os compostos fenólicos apresentam múltiplas atividades biológicas, tais como, propriedades antitumorais, antimutagénicas, anti-inflamatórias, antibacterianas e antioxidantes.

Nos extratos da casca de *Eucalyptus globulus* é possível identificar, entre muitos outros, catequinas, pertencentes à família dos flavanóis, ácidos gálico e elágico, pertencentes à família dos ácidos fenólicos, e proantocianidinas, que pertencem à classe dos taninos. Os compostos fenólicos são substâncias que existem, principalmente, nas plantas e a importância dada a estes compostos deve-se ao facto de muitos possuírem propriedades benéficas para a saúde humana. Apresentam múltiplas atividades biológicas, tais como, propriedades anti-tumorais, anti-mutagénicas, anti-inflamatórias, antibacterianas e antioxidantes, por poderem proteger as células contra os danos oxidativos. A utilização principal de taninos é o curtume de peles e a produção de resinas sintéticas e em adesivos.

A extração e avaliação de extratos de casca de *E. globulus* iniciou-se, em 2008, com o Projeto Eucaleather (2008-2009). Neste Projeto, produziram-se extratos aquosos concentrados de casca, mediante uma estratégia desenvolvida no **RAIZ**, que foram testados, com sucesso, no recurtume de peles, em parceria com o Centro Tecnológico de Couros (Alcanena).

Ainda na vertente dos compostos polifenólicos (nos quais se integram os taninos) a casca foi alvo de estudo num Projeto posterior (Biorrefinaria Integrada na Indústria de Pasta e Papel, BIIPP, 2010-2013). Foi realizada a otimização da extração com misturas etanol/água, utilizando os parâmetros temperatura, tempo e percentagem de etanol. O extrato produzido nas condições óptimas (264 minutos, 82.5°C e 52% (v/v) de etanol), que permitiram maximizar a concentração de compostos fenólicos totais, foi submetido a fracionamento e concentração por um processo sequencial de membranas poliméricas planares e adsorção/dessorção, através do parceiro do projeto FEUP, produzindo-se um extrato seco contendo 67% (m/m) de compostos fenólicos totais e 55% (m/m) de taninos. Neste trabalho, foi identificada uma interessante ação anti-proliferativa dos extratos e frações produzidas em células de carcinoma da mama, através de uma parceria estabelecida com o CEBAL.

óleos essenciais

O óleo de eucalipto, extraído das folhas do *Eucalyptus globulus*, apresenta como principal constituinte o 1,8 cineol (78%).

No âmbito de Projetos internos, foi avaliado o potencial de biomassa florestal residual como fonte de óleo essencial. Os resultados indicaram rendimentos muito diferentes, caso se considere apenas a folhagem de *E. globulus* (40 kg/ton a.s.), ou a biomassa florestal residual (4 kg/ton a.s.). Um estudo paralelo indicou rendimentos em óleo essencial na ordem de 7 kg/ton a.s. para uma biomassa florestal cuja recolha foi sujeita a alguma seleção.

A produção de compostos monoterpénicos, obtidos a partir de óleos essenciais de eucalipto, pode representar uma oportunidade de negócio interessante.

19

**NOVAS APLICAÇÕES DAS
FIBRAS CELULÓSICAS:
COMPÓSITOS E
NANOFIBRAS**

19 NOVAS APLICAÇÕES DAS FIBRAS CELULÓSICAS: COMPÓSITOS E NANOFIBRAS

As fibras de celulose têm sido intensamente estudadas, como elementos de reforço em materiais compósitos, com os mais diversos tipos de matrizes devido às suas propriedades mecânicas, baixa densidade, não abrasividade, caráter renovável e biodegradabilidade.

A produção de celulose micro e nanofibrilada, a partir da pasta de celulose, veio alargar significativamente a gama de oportunidades do desenvolvimento de novos materiais.

O **RAIZ** tem vindo a desenvolver projetos de investigação nestas áreas, em parceria com outras instituições, tendo já sido encontradas várias soluções que podem constituir oportunidades de negócio inovadores, nomeadamente:

- Compósitos de fibra de celulose e matriz polimérica que podem substituir, com vantagem, (utilização de matéria-prima renovável, biodegradabilidade, melhores propriedades mecânicas) materiais poliméricos usados na indústria automóvel;
- Várias aplicações da celulose micro e nanofibrilada: substituição do amido na fabricação de papel, filmes barreira para embalagens, membranas celulósicas produzidas por eletrofiação, compósitos poliméricos, aditivo para revestimentos anti-corrosão.



19 NOVAS APLICAÇÕES DAS FIBRAS CELULÓSICAS: COMPÓSITOS E NANOFIBRAS

compósitos

No projeto VALORCEL (desenvolvimento de sistemas poliméricos reforçados com fibras de celulose), desenvolvido em parceria com o PIEP - Pólo de Inovação em Engenharia de Polímeros, procurou desenvolver-se sistemas inovadores, baseados em compósitos de fibras de eucalipto - com características específicas diferenciadoras - para o reforço de sistemas poliméricos, melhorando significativamente o seu desempenho mecânico e ambiental.

Foram estudadas diferentes proporções entre fibra/matriz polimérica, várias fontes de fibra, e abordagens para melhorar a adesão entre as fibras de celulose e as matrizes termoplásticas (polipropileno e poli (ácido lático)). Durante o projeto, foi desenvolvido um processo contínuo desacoplado (composição in-line e moldação por injeção), para incorporação de fibra celulósica sem aglomeração inicial, que envolve a extrusão para produção de compósitos de celulose e injeção para produção de componentes plásticos - Figura 1.



Figura 1. Diagrama simplificado do processo contínuo desacoplado (Extrusão + Injeção) para o desenvolvimento de componentes em compósitos de celulose.

Após a fase de desenvolvimento de matrizes, testes e processos, o projeto contemplou a produção de protótipos, com pasta branca e pasta crua, através de moldação por injeção de componentes reais como, por exemplo, consolas e painéis de veículos - Figura 2.



Figura 2.

Consola em polipropileno + 30% celulose (cor base) e com pintura superficial (preto).

Também o compósito com base no polímero poli (ácido lático) (PLA), com incorporação de 30% de fibras de pasta branca, revelou ter propriedades de resistência superiores ao do polímero isolado, pelo que também esta via revelou ser promissora (Tabela 1).

	PLA Puro	PLA +30% Ref ^a Cacia	
PROPRIEDADES MECÂNICAS À TRAÇÃO			
Tensão máxima	49,78	61,1	MPa
Deformação máxima	3,25	3,78	%
Módulo elástico	3220	5162	MPa
PROPRIEDADES MECÂNICAS AO IMPACTO			
Impacto <i>Charpy</i> (com entalhe)	3,15	4,64	kJ/m ²

Tabela 1. Propriedades mecânicas à tração e ao impacto dos compósitos de base poli (ácido lático) (PLA).

celulose micro/nanofibrilada

A celulose micro ou nanofibrilada (CMF/CNF) é um tipo de nanocelulose que possui regiões amorfas e cristalinas - Figura 3 - e, pelo menos, uma dimensão na ordem dos nanómetros. Em geral, as fibrilas de celulose possuem largura de 5-6 nm (os agregados entre 10 a 20 nm) e comprimento superior a 1 µm. A celulose nanocristalina (CNC) consiste numa sub-estrutura em que a região amorfa é eliminada (Figura 3) dando origem a bastonetes

de celulose (frequentemente referidos como *whiskers*) de comprimento 50-500 nm e largura 3-20 nm.



Figura 3.
Estrutura da parede celular e representação da CNF e CNC.

O interesse nestes materiais tem vindo a crescer, devido a algumas características que se têm revelado inigualáveis, e que abrem perspectivas para novas aplicações. A propriedade de maior destaque é a elevada área superficial que pode chegar a várias dezenas de m² por g de material. No entanto, as propriedades dependem em larga medida da extensão e tipo de fibrilação (delaminação) induzida na fibra. Além da elevada área específica, a resistência mecânica e módulo de elasticidade, baixo coeficiente de expansão térmica, boas propriedades óticas e biodegradabilidade são características que têm impulsionado a aplicação deste material em diversos setores como a indústria de revestimentos, adesivos, materiais compósitos, formulações de agroquímicos, componentes eletrónicos, em particular dispositivos eletrónicos de filme fino para aplicações biomédicas e cosméticas, entre outros.

Foi desenvolvido um projeto em parceria com a UA, UNL e UC - NMC (Novos Materiais Celulósicos) - com o objetivo de produzir CMF/CNF, a partir de pasta de *E. globulus*, e realizar a demonstração de aplicações em produtos de elevado valor acrescentado - Figura 4.

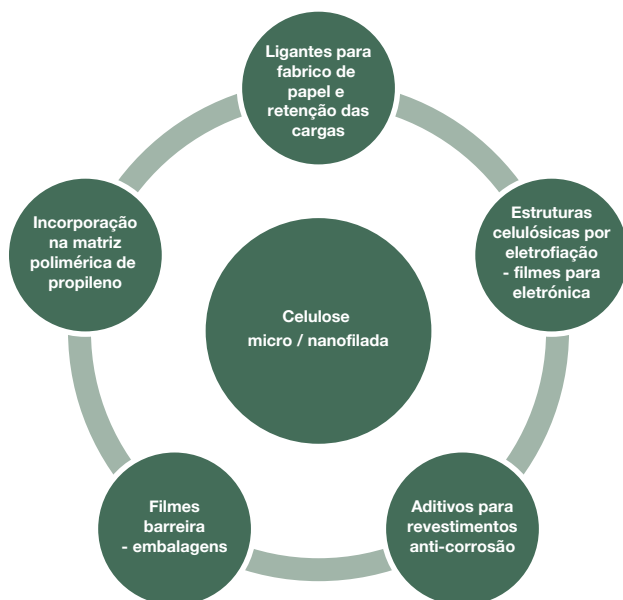


Figura 4.

Estrutura do projeto NMC com destaque para as aplicações desenvolvidas a partir de CMF/CNF de *E. globulus*.

Neste projeto foram testadas diferentes abordagens para produção de CMF/CNF, a partir de pasta branqueada de *E. globulus*, (à qual foram removidas as xilanas). Os resultados demonstraram que, através de modificação química da celulose, é possível reduzir a energia necessária para a desfibrilação mecânica para produção de CMF/CNF, permitindo reduzir o custo associado a esta etapa. No caso particular da carboximetilação foi conseguido um rendimento elevado em fibrilas de celulose com diâmetro reduzido (4-6 nm), melhorando as propriedades óticas e físicas. As CMF/CNF mais promissoras foram testadas em diferentes aplicações.

desenvolvimento de aplicações

ligantes para fabrico de papel e retenção de cargas

As CMF/CNFs produzidas foram testadas como aditivo no *furnish* do papel, avaliando o efeito em termos estruturais e de resistência físico mecânica, bem como o potencial para o aumento de incorporação de cargas em comparação com o amido. Verificou-se um efeito positivo na resistência à tração em húmido de folhas com CMF, especialmente para valores de humidade até 50%.

filmes barreira para embalagem

A avaliação das CMF/CNF envolveu também a sua aplicação na formação de filmes barreira. Foram analisadas propriedades mecânicas, químicas, de transferência de vapor de água, permeabilidade ao oxigênio e dióxido de carbono e, ainda, o comportamento à passagem de corrente elétrica. Com base nos dados, demonstrou-se que os filmes produzidos a partir de CMF/CNF funcionalizada constituem uma alternativa sustentável ao uso de plástico na indústria de embalagens.

membranas celulósicas por eletrofiação

Foram preparadas soluções para eletrofiação, partindo de dois derivados de celulose, frequentemente utilizados como matriz na produção de membranas não tecidas por eletrofiação, a hidroxipropilcelulose (HPC) e o acetato de celulose (AC). Os resultados obtidos pelos ensaios mecânicos demonstram que a incorporação de CNF nas membranas eletrofiadas, aumenta a sua resistência mecânica, verificando-se um aumento de cerca de 300% nos valores do módulo de elasticidade e da tensão de cedência.

incorporação na matriz polimérica de propileno - compósitos

Nesta vertente do trabalho desenvolvido, foram produzidos e caracterizados diferentes compósitos com incorporação de CMF/CNF, com e sem hemiceluloses, e ainda com fibra micronizada em matriz polimérica de polipropileno (PP).

Demonstrou-se que a produção de compósitos de polipropileno, com a incorporação de fibra micronizada, se traduz numa melhoria de propriedades mecânicas, com potencial de aplicação no setor dos componentes automóveis.

aditivos para revestimentos anticorrosão

A utilização de polímeros provenientes de fontes sustentáveis na proteção contra a corrosão encontra-se ainda numa fase inicial, mas com um desenvolvimento crescente nos últimos anos. O uso de nanomateriais, como reservatórios para inibidores de corrosão, apresenta vantagens no que diz respeito à eficiência anticorrosiva dos revestimentos: a libertação controlada de inibidores estende a ação protetora ao longo do tempo e, ao mesmo tempo, limita a degradação dos revestimentos e dos inibidores.

Este trabalho revelou o potencial de CMF/CNF como aditivo para revestimentos protetores de base aquosa, utilizando a funcionalização química e a separação mecânica de micro e nanofibrilas como ferramentas para atuar diretamente na manipulação das propriedades intrínsecas dos revestimentos.

20

**VALORIZAÇÃO DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS DO
PROCESSO DE PRODUÇÃO
DE PASTA E PAPEL**

20 VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PASTA E PAPEL

A atividade de produção de pasta e papel gera subprodutos que tradicionalmente são considerados como resíduos, mas que devido às suas características físicas e químicas podem ser valorizados para utilização como matérias-primas alternativas para outros setores industriais ou para a produção de produtos inovadores. Face a esta situação, o **RAIZ** desenvolveu atividades nesta área, destacando-se:

- O desenvolvimento técnico de um grande número de aplicações para resíduos sólidos do processo de produção de pasta, tanto aplicações industriais como para uso florestal como fertilizantes nas plantações de eucalipto;
- A identificação de constrangimentos de natureza de mercado e regulamentares que limitam aplicação das soluções desenvolvidas em grande escala;
- A “desclassificação como resíduos” de subprodutos através da: homologação de produtos obtidos a partir dos subprodutos considerados; organização e submissão de candidatura à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para reclassificação dos resíduos do setor, de acordo com os artigos 44.º-A e 44.º-B do RGGR.



20 VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PASTA E PAPEL

programa de Valorização dos Resíduos Sólidos do RAIZ

Desde praticamente a constituição do **RAIZ**, conduziram-se esforços na valorização dos resíduos sólidos do processo de produção de pasta e papel, desenvolvendo I&D em soluções de valorização sustentáveis. Entre 1998 e 2000, a atividade do **RAIZ** nesta área foi potenciada com um grande projeto mobilizador, designado ECOCEL, que pela primeira vez neste setor em Portugal colocou os resíduos sólidos processuais não como um problema a resolver mas como uma oportunidade de fornecer matéria-prima para outros setores industriais. O trabalho desenvolvido incluiu diversas fases, desde caracterizações específicas dos resíduos sólidos, passando por testes e ensaios laboratoriais e piloto até aos ensaios industriais ou scale up para a aplicação e avaliação técnico-económica final. O ECOCEL realizou-se de uma forma integrada, envolvendo tanto os centros de conhecimento como empresas industriais parceiras em cada uma das áreas de desenvolvimento. A participação destas empresas promoveu o sucesso das soluções desenvolvidas porque permitiu ter a contribuição do cliente desde as fases laboratoriais e piloto até à realização de testes industriais. Na Figura 1 apresentam-se os setores e entidades envolvidos no projeto ECOCEL.

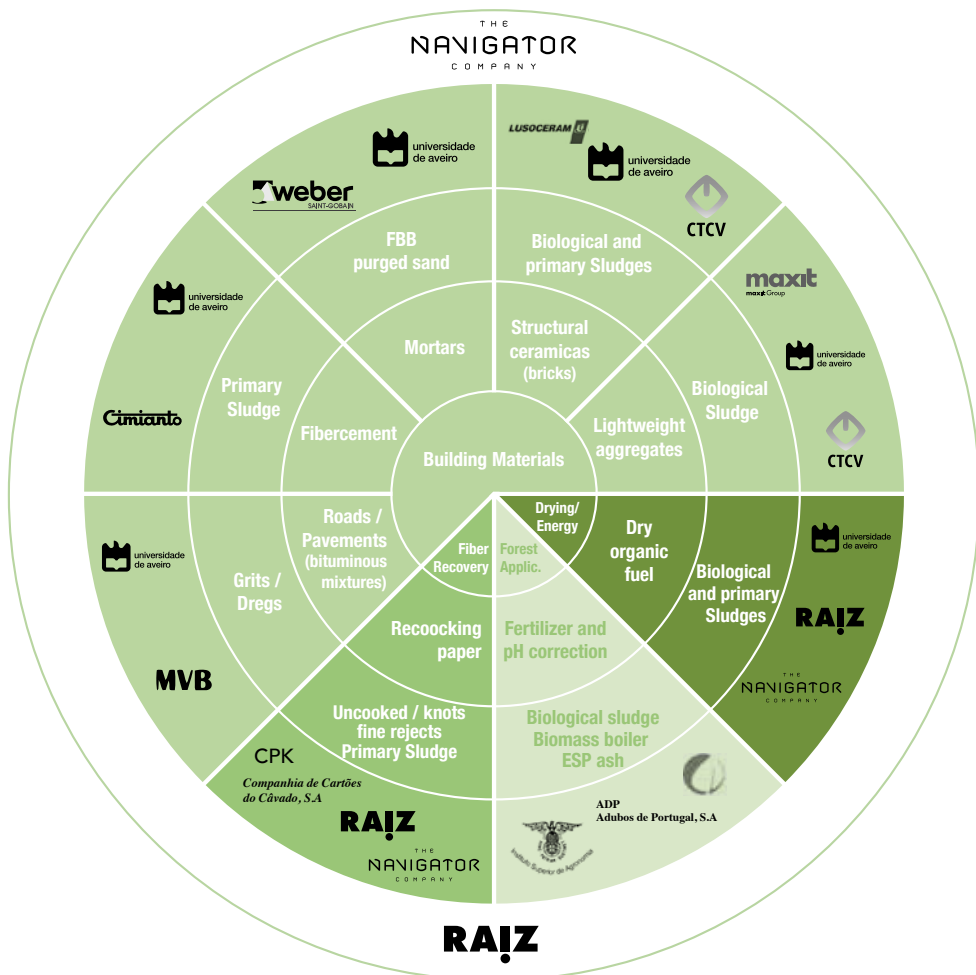


Figura 1. Setores e entidades envolvidas.

O trabalho do **RAIZ** nesta temática incluiu não só projetos que resultaram da elaboração de candidaturas integradas a programas quadro de apoio (por exemplo o ECOCEL), mas também através do apoio direto a trabalhos académicos (disponibilizando os resíduos e informação) e ainda através de parcerias diretas com a indústria. Na Tabela 1 listam-se resultados de trabalhos com diferentes resíduos sólidos e as aplicações desenvolvidas para cada um deles. Estes resultados mostram que o **RAIZ** foi para além das utilizações industriais e estudou o uso de resíduos fabris com valor como fertilizantes e que poderiam vir a ser utilizados nas plantações de eucalipto. O desenvolvimento de aplicações para os resíduos chegou, na maior parte dos casos, até à escala industrial, ultrapassando os principais problemas

técnicos encontrados através de operações específicas ou pela regulação da incorporação. Apesar do sucesso em termos técnicos de um número significativo das soluções desenvolvidas, existiram constrangimentos de natureza de mercado e regulamentares que limitaram a sua aplicação em grande escala, nomeadamente:

- As partes envolvidas não tiveram uma visão comum da forma como consideraram os subprodutos em resíduos e em matéria-prima, o que não permitiu em alguns casos o acordo sobre como distribuir os benefícios das aplicações;
- Excessiva regulamentação do setor conduz ao desinteresse ou a dificuldades das empresas clientes de se poderem licenciar como entidades gestoras de resíduos;
- Dimensão, viabilidade e alterações de mercado de algumas empresas dos setores conduzem a que não se consiga a implementação continuada das soluções;
- Aspetos conjunturais da economia ou de alteração permanente também contribuíram para a inviabilização de algumas das alternativas estudadas.

O **RAIZ** considerou também estratégico a “desclassificação como resíduos” dos subprodutos que procurou valorizar, nomeadamente através de:

- Homologação de produtos obtidos a partir dos subprodutos considerados;
- Organização e submissão de candidatura à Agência Portuguesa do Ambiente (APA) para reclassificação dos resíduos do setor, de acordo com os artigos 44.º-A e 44.º-B do RGGR.

Em termos do trabalho desenvolvido como reclassificação destes subprodutos foi possível a homologação de um corretivo alcalinizante produzido a partir lamas de carbonato (Calcel) e de um fertilizante obtido com uma mistura de lamas de ETAR, cinzas do electrofiltro de caldeiras de biomassa e resíduos do parque de madeiras (Ferticel).

Além das aplicações referidas, o **RAIZ** também fomentou e acompanhou soluções inovadoras, como o caso dos novos cimentos (cimentos não calcários ou geopolímeros). Embora seja um produto novo, incipiente no mercado, têm-se vindo a realizar testes da sua produção com incorporação de cinzas volantes, havendo já ensaios com incorporação de 50% de cinzas. Crê-se que pela natureza do processo produtivo também possam vir a constituir uma fonte de escoamento de resíduos.

Aplicações desenvolvidas para os diferentes resíduos sólidos	
RESÍDUO	APLICAÇÃO
Areais de leito fluidizado de caldeiras a biomassa	Incorporação em argamassas
	Pavimentação de parques de madeiras / outras áreas
Cinzas das caldeiras de biomassa	Aplicação florestal e agrícola (*)
	Compostagem
	Produção de cimento
Lamas de cal	Correctivo alcalinizante de solos
Lamas biológicas	Fabrico de adubos organo-minerais
	Valorização energética
	Incorporação em materiais cerâmicos de construção
	Produção de argila expandida
Lamas Primárias	Aplicações papeleiras, cartão, embalagens
	Produção de fibrocimento
Nós e incozidos	Recozimento dos incozidos em digestores descontínuos (Cacia)
Dregs	Misturas betuminosas após lavagem
	Incorporação em materiais cerâmicos
Grits	Misturas betuminosas
	Incorporação em materiais cerâmicos

Tabela 1. Aplicações desenvolvidas para os diferentes resíduos sólidos.

1996
2016

**PUBLICAÇÕES
CIENTÍFICAS**

PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS

1996

Araújo, J.A., Sousa, R., Lemos, L. and Borralho, N.M.G. (1996). **“Estimates of genetic parameters and prediction of breeding values for growth in *Eucalyptus globulus* combining clonal and full-sib information”**. *Silvae genetica*, 45: 223-226.

Ciampi A.Y., Gaiotto F.A., Marques C.M., Walter B.M.T. & D. Grattapaglia (1996). **“Amplified fragment length polymorphism (AFLP) for population genetic studies of tropical trees”**. *Revista Brasileira de Genética* 19 (3): 284.

Gaiotto F.A., Ciampi A.Y., Marques C.M., Whetten R. & D. Grattapaglia (1996). **“Optimization of AFLP (amplified fragment length polymorphism) technology for genome analysis in *Eucalyptus*”**. *Revista Brasileira de Genética* 19 (3): 326.

1997

Lemos, L., Carvalho, A., Araújo, J.A. e Borralho, N.M.G. (1997). **“Importance of additive genetic and specific combining ability of stem cuttings in *Eucalyptus globulus*”**. *Silvae genetica* 46: 307-308.

1998

Marques C.M., Araújo J.A., Ferreira J.G., Whetten R., O'Malley D.M., Liu B.-H. & R. Sederoff (1998). **“AFLP genetic maps of *Eucalyptus globulus* and *E. tereticornis*”**. *Theor. Appl. Genet.* 96: 727-737.

1999

Marques C.M., Vasquez-Kool J., Carocha V.J., Ferreira J.G., O' Malley D.M., Liu B.-H. & R. Sederoff (1999). **“Genetic dissection of vegetative propagation traits in *Eucalyptus tereticornis* and *E. globulus*”**. *Theor. Appl. Genet.* 99: 936-946.

2001

Trindade, H., Boavida, L.C., Borralho, N.M.G. and Feijó, J.A. (2001). **“Successful Fertilization and Seed Set from Pollination on Immature Non-dehisced Flowers of *Eucalyptus globulus*”**. Annals of Botany, 87: 469-475.

Alexandre Martins & A. P. Mendes de Sousa (2001). **“The *eucalyptus* effect”**. Pulp & Paper, Europe.

Furtado, F.P., Evtuguin, D.V., Gomes, T.M. (2001) **“Effect of the acid stage in ECF bleaching on *Eucalyptus globulus* kraft pulp bleachability and strength”**, Pulp & Paper Canada, 102(12), T341-344.

2002

Marques C. M., Carocha V. J., Brondani R. P. V., Grattapaglia D. & R. Sederoff (2002). **“Conservation and synteny of SSR loci and QTL for vegetative propagation in four *Eucalyptus* species”**. Theor. Appl. Genet. 105: 474-478.

2003

Borralho, N.M.G. (2003). **“The challenges and lessons from breeding *eucalyptus*. In *Eucalyptus Plantations*”**. Research, Management and Development (Eds., R.-P. Wei and D. Wu), Pp79-89. World Scientific Publishing Co., Singapore.

2004

Costa-e-Silva, J., Borralho, N.M.G. and Potts, B.M. (2004). **“Additive and non-additive genetic parameters from clonally replicated and seedling progenies of *Eucalyptus globulus*”**. Theor. Applied Genetics 108: 1113-1119.

Valente C., Manta A., Vaz A. (2004). **“First record of the Australian psyllid *Ctenarytaina spatulata* Taylor (Homoptera: Psyllidae) in Europe”**. Journal of Applied Entomology 128 (5) 369-370.

Pinto S., Rosenbom K., Machado L., Ferreira V. M. (2004). **“Incorporation of Sludges in Light Expanded Clay Aggregates”**, January, Key Engineering Materials 264-268:1391-1394, DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.264-268.1391

Manuel L., Ferreira G. A., Amaral L., Machado L. (2004). **“Removal of Chloride in the Kraft Chemical Recovery Cycle of Pulp Mills Using the Ion-Exchange Process”**. October, Industrial & Engineering Chemistry Research 43(22), DOI:10.1021/ie030862j.

2005

Gaspar, M.J. and Borralho, N.M.G. (2005). **“N.M.G. Comparison between field performance of cuttings and seedlings of *Eucalyptus globulus*”**. Ann. For. Sci. 62: 837-841.

Paux E., Carocha V., Marques C., Mendes de Sousa A., Borralho N., Sivadon P. & J. Grima-Pettenati (2005). **“Transcript profiling of *Eucalyptus* xylem genes during tension wood formation”**. New Phytologist 167(1): 89-100.

Marques C.M., Carocha V.J., Pereira de Sá A.R., Oliveira M.R., Pires A.M., Sederoff R. & N.M.G. Borralho (2005). **“Verification of QTL linked markers for propagation traits in *Eucalyptus*”**. Tree Genetics & Genomes 1:103-108.

Armando J. D. Silvestre, Dmitry V. Evtuguin, António P. Mendes Sousa, Artur M. S. Silva (2005). **“Lignans from a hybrid *Paulownia* wood”**. Biochemical Systematics and Ecology 33,2005, 1298-1302.

2006

Myburg A.A., Potts B.M., Marques C.M.P., Kirst M., Gion J.-M., Grattapaglia D. & J. Grima-Pettenati (2006). ***Eucalyptus***. In: Kole C.R., Ed. Genome Mapping & Molecular Breeding in plants. Vol. 7: Forest Trees. Springer, Heidelberg, Berlin, New York, Tokyo.

Branco M., Franco J., Valente C., Mendel Z. (2006). **“Survey of *Eucalyptus* gall wasps (Hymenoptera: Eulophidae) in Portugal”**. Boletín de Sanidad Vegetal Plagas: 32: 199-202.

Ferreira M., Manta C., Valente C. (2006). **“First record of an eriophyid mite from *Eucalyptus* in Portugal, *Rhombacus eucalypti* Ghosh & Chakrabarti”**. Agronomia Lusitana (2004-06) 51 (3): 227-229.

2007

Freeman J.S., Marques C.M.P., Carocha V., Borralho N., Potts B.M. & R.E. Vaillancourt. 2007. Origins and diversity of the Portuguese Landrace of *Eucalyptus globulus*. Annals of Forest Science 64: 639-647.

2008

Santos, J.A., Santos, J., Borralho, N.M.G. and Araújo, J. (2008). **“Caracterização das Potencialidades de Utilização da Madeira de Híbridos de Eucalipto”**. *Silva Lusitana* 16(1): 63 – 81.

Borralho, N. M. G. , Almeida, M.H. and Potts, B.M. (2008). **O melhoramento do Eucalipto em Portugal**. (Eds., Alves, A. M., J. S. Pereira e J. M. N. Silva). Pp 61-110. *Impactes Ambientais do Eucalipto em Portugal*. ISAPress (ISBN 978-972-8669-25-6), Lisboa.

Valente C., Hodkinson I. (2008). **“First record of the Red Gum Lerp Psyllid, *Glycaspis brimblecombei* Moore (Hem.: Psyllidae), in Europe”**. *Journal of Applied Entomology*, 133: 315-317.

Silva M., Valente C., Neves L., Machado H. (2008). **“Evaluation of *Mycosphaerella* impact in eucalypt plantations in Portugal”**. *Rev. de Ciências Agrárias* 31 (2): 112-118.

Evangelista M., Valente C. (2008). **“Management of pests and diseases in pine and eucalyptus stands”**. In Branco M., Valente C., Paiva M.R. (Eds.). *Pragas e doenças em Pinhal e Eucalipto - Desafios para a sua gestão integrada*. ISAPress, Lisbon, pp 203-216.

Vasques A., Valente C. (2008). **“Importance of undercover upon the density of the *Eucalyptus* psyllid *Ctenarytaina spatulata* and of its predators”**. In Branco M., Valente C., Paiva M.R. (Eds.). *Pragas e doenças em Pinhal e Eucalipto - Desafios para a sua gestão integrada*. ISAPress, Lisbon, pp 187-199.

Branco M., Valente C., Manta C., Ramos M., Calvão T. (2008). **“Effect of diversity on *Eucalyptus* pests”**. In Branco M., Valente C., Paiva M.R. (Eds.). *Pragas e doenças em Pinhal e Eucalipto - Desafios para a sua gestão integrada*. ISAPress, Lisbon, pp 173-186.

Valente C., Branco M. (2008). **“The importance of woodpeckers as natural enemies of *Eucalyptus* borers”**. In Branco M., Valente C., Paiva M.R. (Eds.). *Pragas e doenças em Pinhal e Eucalipto— Desafios para a sua gestão integrada*. ISAPress, Lisbon, pp 147-158.

Palma C., Valente C. (2008). **“Impact of the *Eucalyptus* snout beetle, *Gonipterus scutellatus*, on plant growth”**. In Branco M., Valente C., Paiva M.R. (Eds.). *Pragas e doenças em Pinhal e Eucalipto - Desafios para a sua gestão integrada*. ISAPress, Lisbon, pp 87-103.

Machado H., Silva M., Araújo C., Neves L., Valente C. (2008). **“Assessment of the susceptibility of different clones, hybrids and families of *Eucalyptus globulus* to the attack of *Mycosphaerella* spp”**. In Branco M., Valente C., Paiva M.R. (Eds.). Pragas e doenças em Pinhal e Eucaliptal - Desafios para a sua gestão integrada. ISAPress, Lisbon, pp 75-86.

Valente C., Machado H., Silva M. (2008). **“*Eucalyptus* pests and diseases”**. In Branco M., Valente C., Paiva, M.R. (Eds.). Pragas e doenças em Pinhal e Eucaliptal - Desafios para a sua gestão integrada. ISAPress, Lisbon, pp 37-51.

2009

Costa e Silva, J., Borralho, N.M.G., Araújo, J.A., Vaillancourt, R.E. and Potts, B.M. (2009). **“Genetic parameters for growth, wood density and pulp yield in *Eucalyptus globulus*”**. Tree Genetics and Genomes 5: 291-305.

Mendes, C.V.T., Carvalho, M.G.V.S., Baptista, C.M.S.G., Rocha, J.M.S., Soares, B.I.G, Sousa, G.D.A. (2009) **“Valorisation of hardwood hemicelluloses in the kraft pulping process by using an integrated biorefinery concept”**. Food Bioprod. Process. 87: 197-207.

2010

Mikhail S. Saraiva, José A. F. Gamelas, António P. Mendes de Sousa, Bruno M. Reis, José L. Amaral and Paulo J. Ferreira (2010). **“A New Approach for the Modification of Paper Surface Properties Using Polyoxometalates”**. Materials 2010, 3, 201-215; DOI:10.3390/ma3010201.

Sónia Sousa, António P.M. Sousa, Juha P. Koskela, Álvaro Vaz, Ana Ramos (2010). **“Long-chain quaternary EPK2 surface sizing and print quality evaluation”**. Appita Journal, Vol 63, No 4, August 2010.

2011

Araújo, J.A., Borralho, N.M.G. and Dehon, G. (2011). **The importance and type of non-additive genetic effects for growth in *Eucalyptus globulus***. Tree Genetics & Genomes 8: 327-337. DOI 10.1007/s11295-011-0443-x.

Ribeiro M.M., Sanchez L., Ribeiro C., Cunha F., Araújo J.A., Borralho N. & C.M. Marques (2011). **A case study of *Eucalyptus globulus* fingerprinting for breeding**. Annals of Forest Science 68: 701-714 (DOI 10.1007/s13595-011-0087-x).

Mendes, C.V.T., Rocha, J.M.S., Soares, B.I.G., Sousa, G.D.A., Carvalho, M.G.V.S. (2011) **“Extraction of hemicelulloses prior to kraft cooking: A step for an integrated biorefinery in the pulp mill”**. O Papel, 72(9): 79-83.

2012

Resende G.D.S.P. & C.M. Marques (2012). **“Plantações clonais de eucalipto”**. In Caixa XXIV: Monteiro Alves A., Santos Pereira J., Vaz Correia A., Silvicultura - A gestão dos ecossistemas florestais. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Mota I., Pinto P.C.R., Novo C., Silva E.A.B., Sousa G., Guerreiro O., Guerra A.R., Duarte M.F, Rodrigues A.E. (2012) **“Extraction of polyphenolic compounds from Eucalyptus globulus bark: process optimization and screening for biological activity”** Industrial & Engineering Chemistry Research, 51(20), 6991-7000.

2013

Garcia A., Figueiredo E., Valente C., Monserrat V., Branco M. (2013). **“First record of Thaumastocoris peregrinus in Portugal and of the neotropical predator Hemerobius bolivari in Europe”**. Bulletin of Insectology 66 (2): 251-256.

Pinto P.C.R., Sousa G., Crispim F., Silvestre A.J.D, and Pascoal Neto C. (2013) **“Eucalyptus globulus bark as source of tannin extracts for application in leather industry”**, ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 1(8), 950-955.

2014

Sónia C. L. Sousa, António O. Mendes, António P. M. Sousa, Paulo T. Fiadeiro, Ana M. M. Ramos (2014). **“Dynamic Interactions of Pigment-Based Inks on Chemically Modified Papers and Their Influence on Inkjet Print Quality”**. Industrial & Engineering Chemistry Research, March 2014. DOI: 10.1021/ie403595f.

Sónia Sousa, António Mendes de Sousa, Bruno Reis, Ana Ramos. **“Influence of Binders on Inkjet Print Quality”**. Materials Science (MEDŽIAGOTYRA). Vol. 20, No. 1. 2014. DOI:10.5755/j01.ms.20.1.1998.

2015

Zina V., Garcia A., Valente C., Branco M., Franco J.C. (2015). “**Ant species (Hymenoptera, Formicidae) associated to *eucalyptus* plantations in Portugal**”. *Iberomyrmex*, 7:11-16.

Pinto P.C.R., Oliveira C.F., Costa C.A., Gaspar A., Faria T., Ataíde J., Rodrigues A.E. (2015) “**Kraft delignification of energy crops in view of pulp production and lignin valorization**”, *Industrial Crops and Products*, 71, 153-162.

2016

Bragança, H., Diogo E., Neves L., Valente C., Araújo, C., Bonifácio, L., Phillips, A. (2016). “**Quambalaria eucalypti, a pathogen of *Eucalyptus globulus* newly reported in Portugal and in Europe**”. *Forest Pathology*, 46 (1): 67 - 75. DOI: 10.1111/efp.12221.

Ward, S., Valente, C., Gonçalves C., Polaszek, A., (2016). “**Rediscovery and redescription of *Centrodora damoni* (Girault) (Hymenoptera: Aphelinidae) from Australia, an egg parasitoid of *Gonipterus* spp (Coleoptera: Curculionidae), after nearly a century**”. *Biodiversity Data Journal* 4: e7766. DOI: 10.3897/BDJ.4.e7766.

Ribeiro, T., Barreira R., Bèrges H., Marques, C., Loureiro, J., Morais-Cecílio, L. & J. A. P. Paiva. 2016. “**Advancing *Eucalyptus* genomics: cytogenomics reveals conservation of *Eucalyptus* genomes**”. *Front. Plant Sci.*, 22 abril 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.00510.

20
anos

IMPRESSO EM PAPEL SOPORSET PREMIUM OFFSET 120 g/m²,
PRODUZIDO PELA THE NAVIGATOR COMPANY,
PROVENIENTE DE FLORESTAS COM GESTÃO SUSTENTÁVEL.

RAIZ



PART OF
**THE NAVIGATOR
COMPANY**

RAIZ - INSTITUTO DE INVESTIGAÇÃO DA FLORESTA E PAPEL

Quinta de S. Francisco,
Rua José Estevão (EN 230-1),
3800-783 Eixo, Aveiro, Portugal

telefone: (+351) 234 920 130

raiz@thenavigatorcompany.com

<http://raiz-iifp.pt>