



Instituto Politécnico de Coimbra
Escola Superior Agrária de Coimbra

Valorização de resíduos na indústria de pasta de papel

Gestão de resíduos orgânicos gerados no processo

Daniela Cristina Marques Rocha, 21627009
Coimbra, 21 de setembro de 2018
Ano letivo: 2016/2018



Orientador interno:
Dr^a Célia Ferreira

Orientador externo:
Eng^a Sofia Reis Jorge

Entidade de Acolhimento:
Celulose Beira Industrial (Celbi), S.A.





Instituto Politécnico de Coimbra
Escola Superior Agrária de Coimbra

Valorização de resíduos na indústria de pasta de papel

Gestão de resíduos orgânicos gerados no processo

Daniela Cristina Marques Rocha, 21627009
Coimbra, 21 de setembro de 2018
Ano letivo: 2016/2018

Entidade de Acolhimento:
Celulose Beira Industrial (Celbi), S.A.

Orientador externo:
Eng^a Sofia Reis Jorge

Orientador interno:
Dr^a Célia Ferreira

Relatório de Estágio Profissionalizante apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental



AGRADECIMENTOS

À Professora Dr^a Célia Ferreira, a disponibilidade enquanto orientadora deste estágio e todo o acompanhamento prestado.

À Eng^a Sofia Reis Jorge, minha orientadora externa por me apresentar um tema com relevância para a Celbi, pelos conhecimentos adquiridos e ajuda no decorrer do estágio.

Aos meus colegas de turma, pelo apoio e companheirismo.

Aos meus colegas de trabalho por todo o incentivo e ajuda no decorrer destes dois anos.

Aos meus amigos por estarem sempre perto e a torcer pelo meu sucesso.

À minha família, o meu pilar, sem os quais teria sido impossível superar este desafio.

Por fim, ao meu marido, que me acompanhou nestes dois anos desafiantes de muito trabalho e estudo. Que sempre me apoiou e incentivou a continuar.

RESUMO

O trabalho desenvolvido neste estágio teve foco na procura de aplicações alternativas e ambientalmente viáveis para resíduos produzidos numa empresa de produção de pasta de papel, a Celulose Beira Industrial (CELBI), S.A.

Os resíduos em estudo resultam do processo de crivagem da pasta e do tratamento de efluentes (fibras do tratamento primário e lamas biológicas) na estação de tratamento de águas residuais industriais e têm uma natureza sobretudo orgânica.

Os resíduos orgânicos foram caracterizados, tendo sido apresentada a situação atual de gestão dos mesmos, bem como as dificuldades sentidas pela empresa neste processo.

O trabalho foi desenvolvido recorrendo a literatura sobre métodos existentes ou em estudo no meio científico para tratamento destes resíduos, tendo sido ainda efetuada uma pesquisa no mercado de empresas de gestão de resíduos na procura de soluções conhecidas por estas e/ou possíveis parcerias no desenvolvimento das soluções.

Dois dos métodos encontrados na literatura foram estudados de forma mais aprofundada por forma a verificar a sua aplicabilidade específica aos resíduos da Celbi.

Os resultados alcançados no decorrer deste estágio superaram as expectativas, tendo-se encontrado uma possível e viável solução para as lamas biológicas e tendo-se desenhado um caminho para novas possibilidades de valorização dos resíduos da crivagem e fibras do tratamento primário.

Palavras-chave: resíduos orgânicos; gestão de resíduos; lamas biológicas; resíduos da crivagem; fibras do tratamento primário

ABSTRACT

The work carried out at this internship was focused on the search for alternative and environmentally viable applications for waste produced in Celulose Beira Industrial (CELBI), S.A pulp mill.

The waste under study are the result of pulp screening and effluent treatment (primary treatment fibers and biological sludge) in the industrial waste water treatment plant which are of an organic nature.

The organic waste was characterized, and its current management situation was presented, as well as the difficulties experienced by the company in this process.

The work was developed using the literature on existing methods or methods in study by the scientific community for the treatment of these wastes, and a research was carried out in the market of waste management companies in search of solutions known to them and / or possible partnerships for the development of solutions.

Two of the methods found in the literature were studied further to verify their specific applicability to the Celbi' s waste.

The results achieved during this internship exceeded the expectations. A possible and viable solution for the biological sludge was found and a way was designed for new possibilities of valorization of the screening waste and fibers of the primary treatment.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção de pasta na Celbi após projeto de expansão da capacidade de produção em 2009	2
Figura 2 - Quantidades de resíduos produzidos na Celbi em 2017 em kg a.s. ptp	3
Figura 3 - Diagrama do Processo de Produção de Pasta da Celbi.....	8
Figura 4 - Resíduos da crivagem da Celbi	19
Figura 5 - Fibras do tratamento primário da ETAR (lamas primárias) da Celbi.....	20
Figura 6 - Lamas do tratamento secundário da ETAR da Celbi.....	21
Figura 7 - Contribuição dos resíduos orgânicos para os custos totais com resíduos.....	28
Figura 8 – Esquema da solução para valorização de lamas biológicas a implementar na Celbi	41

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Códigos LER, segundo a decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro	22
Tabela 2 - Caracterização dos resíduos de acordo com o Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro.....	22
Tabela 3 - Caracterização dos resíduos de acordo com o Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto	24
Tabela 4 - Critérios de admissão de resíduos em aterros de inertes, de resíduos não perigosos, de resíduos não perigosos e perigosos estáveis e de resíduos perigosos, de acordo com o Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto.....	26
Tabela 5 - Descrição sucinta dos métodos de valorização para resíduos orgânicos da indústria de pasta e papel	31
Tabela 6 – Concentração de substâncias perigosas presentes no licor negro e nas lamas biológicas.....	38
Tabela 7 – Taxa de gestão de resíduos a aplicar entre os anos 2015 a 2020, definida no n.º 2 do artigo 58º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro na redação dada pela Lei n.º 82-D/2014, de 31 de dezembro.....	42
Tabela 8 - Composição das amostras de peletes produzidas	44
Tabela 9 - Resultados da caracterização das amostras de peletes.....	45
Tabela 10 - Empresas licenciadas para a gestão dos resíduos LER 030310 e 030311	47

LISTA DE SIGLAS

ACR	Aterro Controlado de resíduos
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
a.s.	absolutamente seco
cm	centímetros
ECR	Estação de compostagem de resíduos
ETAR	Estação de tratamento de águas residuais
Kg	quilograma
LER	Lista europeia de resíduos
LQ	Limite de quantificação
m ²	metros quadrados
m ³	metros cúbicos
MDF	Medium density fiberboard (Placas de fibra de média densidade)
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
NOx	Compostos reduzidos de azoto
NPE	Non-process Elements (Elementos não processuais)
PCI	Poder calorífico inferior
Ptp	por tonelada de pasta
SILAGR	Sistema de informação do licenciamento de operações de gestão de resíduos
t	Toneladas
TGR	Taxa de gestão de resíduos
EU	União Europeia

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras	v
Índice de tabelas.....	vi
Lista de Siglas.....	vii
Índice	viii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento e motivação do trabalho	2
1.2 Objetivos do estágio	4
1.3 Organização do relatório	4
2. Identificação da empresa	6
2.1 Certificações	7
3. Processo de produção de pasta de papel kraft	8
3.3.1 Receção e preparação de madeiras	8
3.3.2 Impregnação e cozimento.....	9
3.3.3 Lavagem, crivagem e deslenhificação com oxigénio.....	10
3.3.4 Branqueamento	10
3.3.5 Depuração, formação e secagem da folha.....	10
3.3.6 Recuperação química	11
3.3.7 Caustificação	11
3.3.8 Produção de vapor e energia elétrica	12
3.3.9 Abastecimento, tratamento e desmineralização de água	13
3.3.10 Tratamento de efluentes	13
3.3.11 Aterro controlado de resíduos.....	14
3.3.12 Estação de Compostagem de resíduos	14
3.3.13 Resíduos sólidos produzidos no processo	14
4. Metodologia	16
4.1. Caracterização dos resíduos e situação atual	16
4.2. Estado da Arte.....	16
4.3. Potenciais vias de valorização.....	17

4.4. Contactos com empresas.....	17
5. Apresentação e discussão de resultados.....	19
5.1. Caracterização dos resíduos e situação atual	19
5.2. Estado da Arte.....	29
5.3. Potenciais métodos de valorização	37
5.3.1. Valorização energética de lamas biológicas na Caldeira de Recuperação.....	37
5.3.2. Peletização de resíduos para valorização energética	42
5.4. Contactos com empresas.....	47
6. Conclusão e Propostas de trabalho futuro	50
7. Referências Bibliográficas.....	52

1. Introdução

O consumo de recursos naturais esteve desde sempre associado à qualidade da vida humana. Conforme as necessidades do homem se têm tornado mais complexas, a exploração do meio natural tem-se tornado cada vez maior, muitas vezes até à extinção dos seus recursos.

Com a revolução industrial iniciou-se uma elevada expansão da economia, tendo sido dada prioridade às questões económicas face às questões ambientais. A ânsia pela produção de bens e lucro não permitiu ao homem avaliar a transformação que estava a ocorrer no meio ambiente, tal como, o aumento de poluição da água, do ar, do solo e a perda de biodiversidade. Como consequência desta transformação começou-se a verificar a perda da qualidade de vida, bem como o aparecimento de doenças e epidemias. O homem começou a perceber que a exploração inadequada do meio ambiente estava diretamente relacionada com o bem-estar social.

A consciencialização humana para estas questões associada ao conhecimento adquirido e ao desenvolvimento tecnológico permitiu que se iniciassem discussões no meio científico que gradualmente alcançaram a sociedade. Estas discussões permitiram a introdução de normas, regras e limites com o objetivo de preservar o meio ambiente para a continuidade da vida na Terra.

Atualmente e ao nível da União Europeia (UE) foram criadas algumas das normas ambientais mais exigentes do mundo. A política ambiental europeia pretende contribuir para tornar a sua economia mais respeitadora do ambiente, proteger a natureza e salvaguardar a saúde e o bem-estar dos seus cidadãos (União Europeia, 2018).

Ao longo das últimas décadas a legislação europeia, o mercado e a preocupação ambiental da população tem exercido pressão sobre as empresas, tendo-se verificado uma significativa redução da poluição do ar, água e solo.

Atualmente a economia europeia utiliza 16 toneladas de materiais por pessoa e por ano, seis das quais acabam sob a forma de resíduos, metade dos quais, por sua vez, são depositados em aterros. Sempre que não seja possível evitar a produção de resíduos, a Comissão Europeia defende a sua reutilização, reciclagem e valorização, transformando-os, assim, num recurso valioso (Comissão Europeia, 2014).

O sector de produção de pasta e papel é considerado um dos principais sectores de atividade económica em Portugal (Melo M. e Gouveia M., 2001), no entanto é apontado, desde longa data, como um dos mais poluentes. Daí que as tecnologias de proteção ambiental tenham evoluído de forma muito significativa nos últimos anos, em grande parte por força da legislação, mas também

porque uma empresa não poderá sobreviver sem englobar ou introduzir técnicas adequadas à produção com impacte ambiental reduzido.

Os impactes ambientais associados ao produto final, papel, estão pouco relacionados com a utilização deste produto. Estão relacionados, sobretudo, com as etapas de produção e destino final, começando na floresta, passando pelo fabrico de pasta e papel e terminando nas operações de eliminação, valorização energética e reciclagem.

A Celbi compromete-se através da sua política ambiental em adotar processos que reduzam as quantidades de resíduos, promovendo a sua valorização interna ou externa. Este comprometimento é fundamental para esta unidade fabril que gera resíduos sólidos em grandes quantidades. Em termos ambientais, todos os resíduos devem ser geridos adequadamente, devendo os que apresentam maior reatividade e/ou são produzidos em maiores quantidades receber uma atenção especial.

1.1 Enquadramento e motivação do trabalho

A CELBI tem vindo gradualmente a aumentar a sua produção de pasta e associado a esse aumento de produção (figura 1) tem-se verificado também um aumento de produção de resíduos. Os valores extremamente elevados de resíduos, requerem alternativas técnica e economicamente viáveis para a sua valorização no interior ou no exterior das instalações da CELBI, mas que sejam adequadas do ponto de vista ambiental.

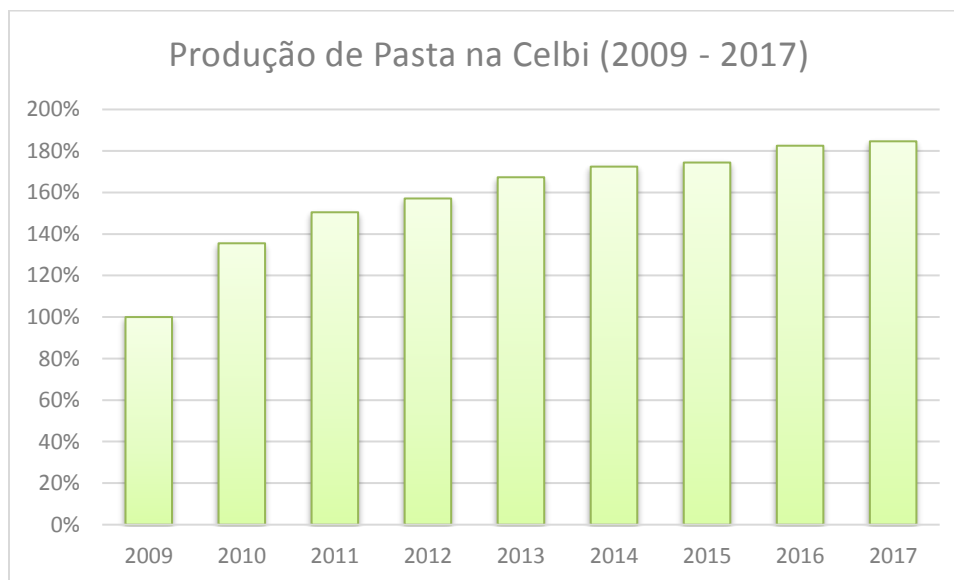


Figura 1 - Evolução da produção de pasta na Celbi após projeto de expansão da capacidade de produção em 2009 (Celbi, 2018)

A produção de pasta de papel da Celbi utiliza diversos processos mecânicos e químicos complexos para separar as fibras de celulose da lenhina que as agrega constituindo a madeira. Estes processos, apesar de muito otimizados, geram resíduos sólidos muito diversos quanto à sua composição, sendo os principais os resíduos da preparação de madeiras, os resíduos do processo de caustificação e forno da cal, os resíduos resultantes da crivagem da pasta e os resíduos do tratamento de efluentes (figura 2).

Dos resíduos referidos, todos à exceção dos resíduos do processo de caustificação e forno da cal, são resíduos de natureza orgânica.

Estes resíduos orgânicos representam atualmente para a Celbi, cerca de 50 % da quantidade de resíduos processuais produzidos e cerca de 70% dos custos que a empresa tem com resíduos. Os destinos finais dados pela Celbi a estes resíduos são a deposição em compostagem e a reutilização na indústria de papel e cartão.

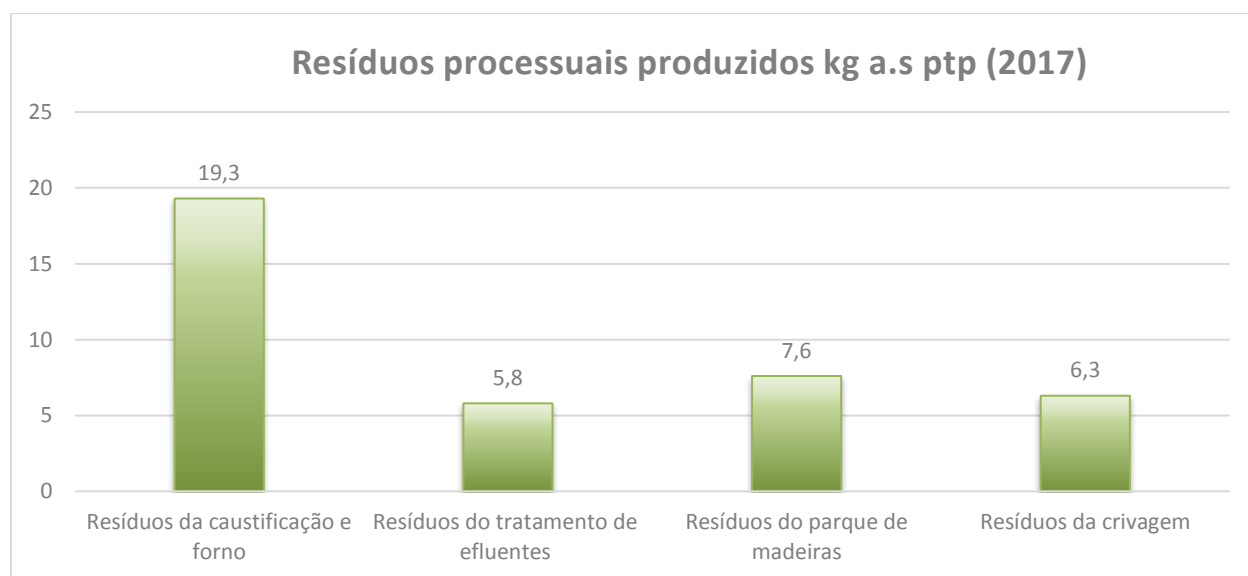


Figura 2 - Quantidades de resíduos produzidos na Celbi em 2017 em kg a.s. ptp (Celbi, 2018)

No que diz respeito aos resíduos da preparação de madeiras, já existe na Celbi uma alternativa à sua deposição em compostagem, sendo esta o seu envio para valorização na Central a Biomassa existente nas suas instalações. Atualmente estes resíduos apenas são depositados em compostagem devido às dificuldades de produzir composto sem resíduos de madeira a serem adicionados ao processo. Assim sendo, a prioridade deste estágio foram os resíduos da crivagem de pasta e do tratamento de efluentes de resíduos.

Outra importante motivação para este trabalho teve a ver com a estação de compostagem de resíduos (ECR) existente na Celbi. A ECR foi instalada há já alguns anos para valorização dos resíduos do tratamento secundário de efluentes (lamas biológicas) na preparação de um composto para aplicação agrícola e silvícola. No entanto, de ano para ano, torna-se cada vez mais difícil colocar no exterior, o composto obtido na operação de compostagem, para além dos problemas associados aos odores resultantes da fermentação das lamas biológicas, situações que se vão agravar, com certeza, nos próximos anos. É objetivo da Celbi reduzir significativamente a quantidade de resíduos a enviar para compostagem.

Perante estes factos, e no sentido de reduzir custos à empresa e melhorar a sua gestão destes resíduos, torna-se urgente encontrar novas soluções para os mesmos.

1.2 Objetivos do estágio

Tendo em conta o descrito no capítulo anterior (1.1 – Enquadramento e motivação do trabalho), para a realização deste estágio profissionalizante foram definidos vários objetivos que se listam seguidamente:

- Caracterização dos resíduos orgânicos produzidos;
- Identificar possíveis novos métodos de valorização dos resíduos;
- Verificar o potencial de aplicação dos resíduos da Celbi aos métodos identificados;
- Valorização ambientalmente adequada dos resíduos;
- Redução de custos de gestão dos resíduos;
- Redução da quantidade de resíduos enviados para compostagem interna da Celbi.

1.3 Organização do relatório

O presente relatório foi organizado em 6 capítulos para além do presente capítulo, Introdução, onde se faz uma breve introdução ao tema, apresentando o problema que deu origem a este estágio e onde são evidenciados os objetivos principais que se pretendem atingir.

No capítulo 2 – Identificação da empresa, é apresentada a empresa onde foi realizado o estágio profissionalizante e é feita uma breve referência aos seus sistemas de gestão.

O processo produtivo da empresa é descrito no capítulo 3 – Produção de pasta de papel kraft, sendo ainda feita uma breve descrição dos resíduos produzidos no processo.

O capítulo 4 – Metodologia, é descrita a metodologia utilizada para a realização de cada uma das tarefas do estágio com finalidade de atingir os objetivos propostos.

No capítulo 5 – Apresentação e discussão de resultados, são descritos os métodos de valorização estudado, quer seja de forma sucinta ou mais aprofundada, bem como os resultados obtidos dos contactos efetuados na procura das novas soluções para os resíduos em estudo.

As Conclusões deste relatório são apresentadas no capítulo 6, juntamente com propostas para desenvolvimento de trabalho futuro.

2. Identificação da empresa

A empresa onde foi realizado este estágio, a Celulose Beira Industrial (Celbi), S.A., pertence ao Grupo Altri. A Celbi é um produtor europeu de referência no sector de pasta de papel, sendo um dos mais eficientes produtores da Europa de pasta de eucalipto branqueada. A sua principal atividade é a produção e comercialização de pasta de papel de fibra curta de elevada qualidade e a produção de energia elétrica (cogeração).

O grupo Altri possui três fábricas de pasta de eucalipto branqueada, Celulose Beira Industrial (Celbi), S.A., Indústria de Celulose (Caima), S.A. e Empresa de Celulose do Tejo (Celtejo), S.A., com uma capacidade anual nominal superior a 1 milhão de toneladas.

A Celbi iniciou a construção da sua unidade fabril em 19 de junho de 1965, altura em que se denominava, Celulose Billerud, SARL. A localização escolhida para a construção da unidade fabril foi a cidade da Figueira da Foz, visto esta reunir um vasto conjunto de vantagens ideais devido à proximidade de áreas florestais, proximidade de áreas envolventes bastante abundantes em água (água subterrânea), água essa fulcral ao processo produtivo, a proximidade do Oceano Atlântico e conseqüentemente a proximidade de um Porto Comercial e a disponibilidade de mão-de-obra qualificada (Celbi, 2015).

A Celbi iniciou a sua atividade em 1967 com produção de pasta solúvel destinada à fabricação de fibras têxteis, com 80 000 toneladas como capacidade máxima. A pasta solúvel, no entanto, demonstrou algumas dificuldades de introdução no mercado o que fez com que alguns anos mais tarde se tomasse a decisão de iniciar a produção de pasta papeleira.

Depois de iniciada a produção de pasta de papeleira, a fábrica aumentou a sua produção máxima para as 120 000 toneladas anuais, isto no ano de 1970, altura em que se alterou a denominação da empresa para, Celulose Beira Industrial (Celbi), SARL.

Em 1989 a Celbi duplicou a sua capacidade de produção para 240 000 toneladas por ano, sendo seis anos depois, em 1995, adquirida pelo grupo sueco STORA passando a ser denominada, Stora Celbi.

No final de 1998, o grupo sueco STORA funde-se com o grupo finlandês ENSO, resultando assim no Grupo Stora Enso, e a Celbi retomou a sua denominação anterior, Celulose Beira Industrial (Celbi), S.A.

Desde agosto de 2006 a totalidade da empresa é detida pelo grupo português Altri. Entre o início de 2007 e junho de 2009, decorreu um projeto de expansão da capacidade produtiva da Celbi, adaptando as novas e melhores tecnologias disponíveis, aumentando a sua capacidade para uma produção superior a 700 mil toneladas por ano.

2.1 Certificações

Hoje em dia as certificações tornam-se cada vez mais importantes para as empresas, sendo estas um atestado de confiabilidade na gestão de uma organização. Deter um certificado de cumprimento dos requisitos de uma norma internacionalmente reconhecida, seja no âmbito da qualidade, ambiente, saúde e segurança, ou outro, demonstra às partes interessadas (clientes, fornecedores, comunidade, entidades governamentais, etc.) que a empresa implementou e mantém boas práticas de gestão comprovadas por um organismo externo e acreditado.

São muitos os benefícios que uma organização certificada, tais como:

- melhoria da competitividade;
- demonstração de transparência perante as partes interessadas;
- prestígio para a empresa;
- facilidade na conquista de novos mercados;
- motiva os colaboradores a trabalhar melhor e para um objetivo comum;
- melhora os processos internos.

A Celbi, através dos seus sistemas de gestão, trabalha sistematicamente na procura da melhoria contínua. O cumprimento das práticas definidas nas suas políticas é garantido através das ferramentas implementadas pelos seus Sistemas de Gestão. Estas ferramentas são utilizadas para estabelecer objetivos e metas, atribuir responsabilidades e fazer o seguimento do desempenho da empresa no que diz respeito aos seus impactos ambientais, sociais, saúde e segurança no trabalho e qualidade do seu produto (Celbi, 2018).

A Celbi detém as seguintes certificações:

- Sistema de Gestão da Qualidade, na norma ISO 9002 em 1995, tendo efetuado a transição para a norma ISO 9001 em 2004;
- Sistema de Gestão Ambiental, na Norma ISO 14001, desde 1999;
- Registo do estabelecimento industrial no EMAS – III (Sistema de eco-gestão e auditoria da União Europeia), desde 2001;
- Sistema de Gestão de Saúde e Segurança no Trabalho, de acordo com a norma OHSAS 18001, desde 2005;
- Sistema de Gestão da Energia, de acordo com a norma ISO 50001, desde 2102;
- Laboratório de ensaios acreditado segundo a Norma NP EN/IEC ISO 17025, desde 2002.

3. Processo de produção de pasta de papel kraft

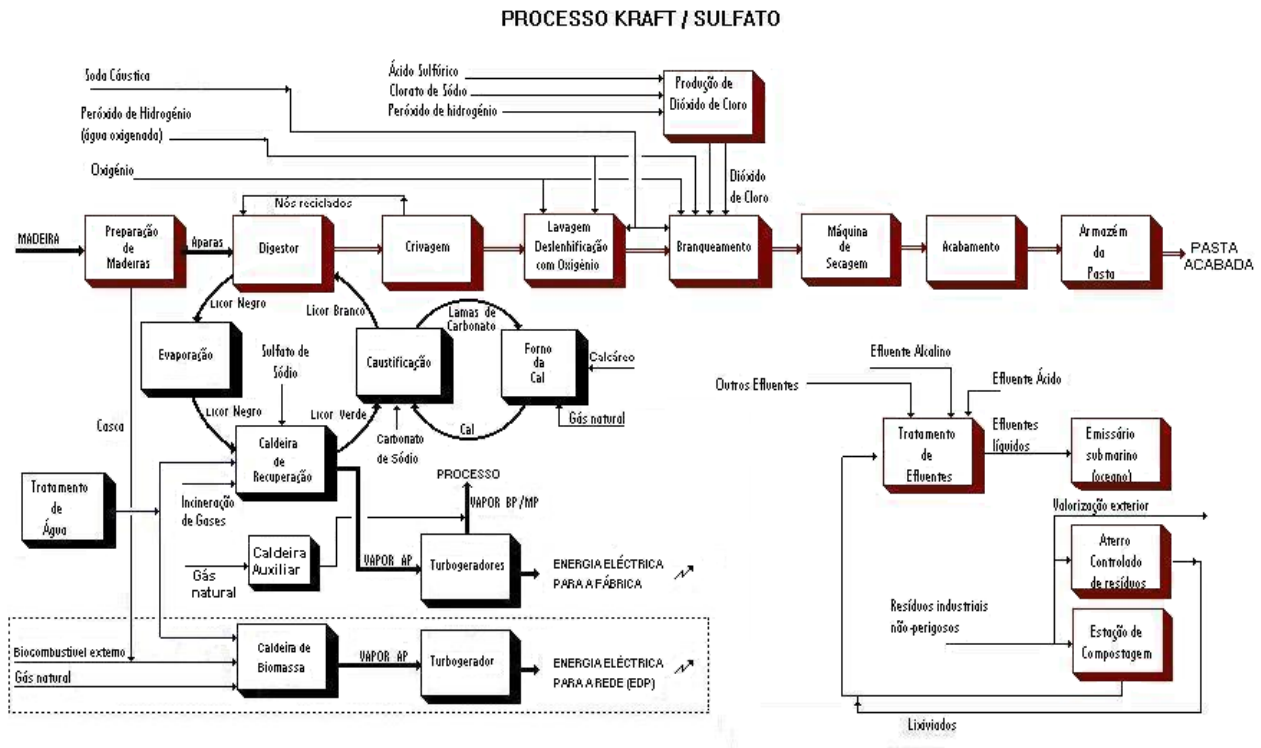


Figura 3 - Diagrama do Processo de Produção de Pasta da Celbi (Celbi, 2018)

Genericamente, produzir pasta a partir da madeira significa separar as fibras de celulose e hemiceluloses e maximizar a sua produção.

As fibras de celulose presentes na madeira das árvores e noutras espécies florestais podem ser separadas das lenhinas que as unem, por maceração com água e substâncias químicas adequadas. A pasta resultante é drenada e, se necessário, branqueada com químicos auxiliares; a extração posterior da água permite preparar a pasta de papel.

No processo de produção de pasta (figura 3), ao sulfato ou “kraft”, as aparas de madeira são tratadas a temperatura e pressão elevadas com um licor de cozimento (licor branco), constituído essencialmente por hidróxido de sódio e sulfureto de sódio.

3.3.1 Receção e preparação de madeiras

A matéria-prima utilizada no processo é constituída por madeira de eucalipto (constituída essencialmente por celulose, hemicelulose e lenhina) é rececionada na fábrica sob a forma de rolaria com casca, rolaria sem casca ou aparas. A rolaria com casca é descascada e destroçada

aparas”, sendo que a rolaria sem casca é apenas destroçada e ambas são enviadas para o silo de aparas (silo 1). A madeira recebida em forma de aparas é armazenada em dois silos (silo 2 e 3). O destroçamento dos toros em aparas permite que o processo seguinte de impregnação de licor branco na madeira ocorra mais facilmente, as aparas são submetidas a um processo de crivagem com separação de “finos” e de “grossos” antes de serem enviadas para a linha de produção de pasta.

A casca, depois da separação de alguma madeira que com ela seguia à saída dos descasques e do seu encaminhamento para o processamento de aparas, é triturada e utilizada como combustível na caldeira de biomassa (Bioelétrica. Altri-EDP) para produção de vapor, utilizado totalmente para produção de energia elétrica para a rede da EDP.

3.3.2 Impregnação e cozimento

As aparas são enviadas para a crivagem através de transportadores e daí seguem para uma tremonha, local onde as aparas começam a ser preparadas para o cozimento. A partir da tremonha as aparas são alimentadas continuamente, pelo topo, a um Impregnador vertical. Neste recipiente, em sentido descendente, numa relação licor/madeira com elevada predominância de líquido, ocorre a impregnação das aparas pelo licor criando-se condições para que os produtos ativos de cozimento iniciem a dissolução da lenhina. As aparas, plenamente impregnadas, são enviadas para o topo do Digestor (reator químico). No Digestor, em condições controladas de pressão e temperatura, tem lugar o processo de cozimento em toda a extensão da unidade. Nesse processo, que consiste na dissolução da lenhina por ação de compostos de sódio, hidróxido (NaOH) e sulfureto (Na₂S), ocorrem as reações na extensão necessária para que a separação das fibras se efetue com reduzido ataque aos compostos celulósicos (polímeros de carboidratos).

Sendo um processo contínuo, há uma alimentação e extração constantes de licor que, fornecendo os compostos ativos de sódio intervenientes nas reações de “cozimento”, é extraído com uma composição química substancialmente diferente, tendo dissolvida grande parte da lenhina separada.

A pasta crua sai pelo fundo do digestor após uma primeira lavagem no seu interior, para dois difusores de pressão onde é sujeita a outra fase de lavagem, sendo então alimentada à instalação de Lavagem, Crivagem e Deslenhificação com Oxigénio, enquanto que o licor negro fraco, constituído por matéria orgânica dissolvida e agentes químicos residuais, é encaminhado para a evaporação, para que possa continuar o processo de recuperação química.

3.3.3 Lavagem, crivagem e deslenhificação com oxigénio

Numa primeira fase, a pasta é submetida a uma crivagem grosseira, para separação dos “nós”, que retornam ao digestor, e a uma crivagem fina ou seletiva para remoção de refugos finos e de partículas estranhas ao processo. O material resultante da crivagem fina ou seletiva é denominado de resíduos da crivagem de pasta.

Após a crivagem, a pasta é então lavada em quatro prensas fases sucessivas e sujeita a uma deslenhificação com oxigénio, em reatores apropriados, em que parte da lenhina residual que a acompanhava é oxidada e extraída nas fases de lavagem.

No final da deslenhificação e lavagem, a pasta apresenta-se pré-branqueada, com coloração ligeiramente acastanhada, ainda com lenhina remanescente, sendo necessário submetê-la ao processo de branqueamento para atingir a classificação de Pasta Branqueada.

3.3.4 Branqueamento

O branqueamento é efetuado em quatro andares ou fases sucessivas de tratamento químico, desenvolvido em diferentes equipamentos, com lavagens intercalares:

- 1º estágio Q/D com adição de quelante e dióxido de cloro (meio ácido);
- 2º estágio P/O com adição de peróxido de hidrogénio e oxigénio (meio alcalino);
- 3º estágio com adição de dióxido de cloro em torres de reação (meio ácido);
- 4º estágio com adição de peróxido de hidrogénio (meio alcalino).

As lavagens intercalares são efetuadas em 7 prensas, 5 de lavagem por deslocamento e duas, a seguir às torres de Dióxido de Cloro, de drenagem.

Como líquido de lavagem adicional, é utilizada água quente ou condensado.

Parte do efluente resultante da lavagem é utilizado na última prensa da instalação de Lavagem e Crivagem como líquido de lavagem, entrando no circuito de licor com destino a queima na Caldeira de Recuperação.

3.3.5 Depuração, formação e secagem da folha

Num conjunto de instalações, agrupadas numa secção, a pasta já branqueada é submetida a uma série de ações até atingir a forma final de produto acabado para expedição.

Assim, a pasta é depurada por ação de crivos e depuradores centrífugos para remoção de partículas de sujidade, segue para alimentação ao Formador, que é a área de formação da folha na máquina de secagem, para transformação em folha contínua. Posteriormente, passa através dos rolos das prensas para remoção de água por prensagem e percorre o Secador várias vezes

de uma extremidade à outra, flutuando entre caixas e passando em rolos de suporte e retorno, nas extremidades. O sistema de circulação de ar interno distribui o ar aquecido através das caixas sopradoras, inferiores e superiores, para secar e suportar a folha.

A pasta sai do Secador com uma secura aproximada de 90 %. Sai pela zona de arrefecimento na parte inferior, que lhe aproxima a temperatura da do ambiente, e entra na cortadeira que a corta em folhas de 85 x 70 cm e as empilha em conjuntos de fardos, com o peso aproximado de 250 kg.

Na linha de acabamentos, os fardos são sucessivamente pesados, embrulhados, carimbados e unificados em conjuntos de oito. Retirados da linha com empilhadores, são armazenados em pilhas, por sectores, em função da classificação atribuída pelo controle contínuo de qualidade.

3.3.6 Recuperação química

O licor negro extraído do Digestor, contendo os produtos químicos inorgânicos originais do licor branco, embora com outra composição e contendo também compostos orgânicos, sobretudo lenhina, é submetido a um processo de evaporação, desenvolvido em três fases: pré-evaporação, contígua ao digestor e integrada no seu sistema de comando e controle, evaporação e concentração com teor de sólidos final elevado (> 70 %).

O licor, a que é adicionado sulfato de sódio como “make-up” para compensação das perdas, é então pulverizado por quatro queimadores no interior da fornalha da Caldeira de Recuperação, onde tem lugar a sua combustão. Das complexas reações aí ocorridas, resulta a fusão dos produtos químicos inorgânicos, a formação de compostos orgânicos gasosos e a libertação de energia acumulada nos compostos orgânicos, resultante da combustão dos mesmos.

Os produtos químicos inorgânicos saem pelo fundo, com a designação de “smelt”, com uma composição em que predominam o carbonato e o sulfureto de sódio. A energia calorífica libertada dá origem à formação de vapor de alta pressão, que é utilizado na produção de energia elétrica e reutilizado, a pressões inferiores, adequadas às operações unitárias que ocorrem nas diferentes instalações.

3.3.7 Caustificação

Os produtos fundidos (“smelt”), descarregados do fundo da caldeira, dissolvidos na descarga com licor fraco proveniente da Caustificação e que, pela sua coloração, tomam a designação de licor verde, são enviados para a Caustificação com passagem por um filtro de discos, para separação de resíduos, seguindo depois para o apagador classificador.

No apagador classificador, junta-se cal viva, constituída fundamentalmente por óxido de cálcio (CaO), ao licor verde, tendo início as reações de caustificação que prosseguem nos caustificadores, onde atingem o equilíbrio. Os produtos predominantes na mistura passam então a ser hidróxido de sódio (NaOH) e sulfureto de sódio (Na₂S) em solução, e carbonato de cálcio (CaCO₃), insolúvel, em suspensão. A separação é efetuada por um filtro de discos, passando a solução através do filtro e seguindo para os tanques de licor branco, dos quais se alimenta o Digestor.

As lamas de carbonato de cálcio, decantadas ou retidas no filtro, são submetidas a lavagem e espessamento, dando origem ao licor branco fraco, utilizado na dissolução do “smelt” e a sólidos desidratados, que são alimentados a um forno para serem transformados em cal viva, a qual é reutilizada no apagador classificador. As perdas de cálcio ao longo do processo são compensadas com calcário e, por vezes, com cal do exterior.

Servindo de suporte, complementando ou integrando indiretamente a cadeia processual descrita, existe ainda um conjunto de instalações e de serviços auxiliares de que se destacam as de Produção de Vapor e Energia Elétrica, Abastecimento, Tratamento e Desmineralização de Água, Tratamento de Efluentes e Aterro Controlado de Resíduos.

3.3.8 Produção de vapor e energia elétrica

As características particulares do processo de fabrico conduzem ao aproveitamento energético quase integral da matéria orgânica não fibrosa, presente na madeira, utilizada na produção de pasta. Este aproveitamento é efetuado através da queima de licor negro na Caldeira de Recuperação que produz o vapor necessário para utilização nas diversas instalações processuais.

O vapor, gerado nas caldeiras de recuperação, alimenta um turbogerador com turbina de contrapressão e de extração intermédia, com uma capacidade nominal de 70 MW, existindo ainda, como reserva operacional, uma turbina com uma capacidade nominal de 23 MW. As extrações das turbinas alimentam as redes de distribuição de vapor de média e baixa pressão. A energia elétrica produzida satisfaz as necessidades do processo de fabrico.

3.3.9 Abastecimento, tratamento e desmineralização de água

A CELBI dispõe de duas fontes alternativas para o abastecimento de água, ou seja, um canal adutor do rio Mondego, correspondendo a cerca de 55% do consumo total, e uma rede de poços existentes na mata florestal, a sul da fábrica, que fornecem a parte restante.

A água, proveniente das fontes indicadas, é alimentada a uma estação de tratamento, constituída por um clarifloculador, com adição de cal e policloreto de alumínio, e filtros de areia. A distribuição de água, armazenada numa cisterna, é efetuada por intermédio de uma estação de bombagem, existindo ainda duas linhas de desmineralização, necessárias ao tratamento da água de alimentação às caldeiras para produção de vapor.

3.3.10 Tratamento de efluentes

A fábrica dispõe de uma rede separativa de efluentes internos, basicamente constituída por:

- Efluente ácido;
- Efluente alcalino;
- Efluente sanitário e da área da Preparação de Madeiras.

Os efluentes das redes gerais, alcalino e ácido, são conduzidos para uma câmara de mistura e desta para uma estação de tratamento primário, dispendo de um tanque de sedimentação com a capacidade de 6 400 m³.

Desse tanque, os sólidos sedimentados, removidos por bombagem, são conduzidos a uma instalação de prensagem e removidos como “resíduos fibrosos”.

Os efluentes domésticos e da área de Preparação de Madeiras, depois de passarem numa câmara de sedimentação para remoção dos resíduos sólidos, juntam-se, na câmara de neutralização, ao efluente descarregado do tanque de sedimentação.

O conjunto de efluentes segue depois para o tratamento secundário, passando pela bacia de equalização, bacia de arejamento, reator biológico e clarificador secundário, do qual seguem para o exutor submarino, que os descarrega no Oceano Atlântico, a cerca de 1.500 m da costa.

Os resíduos resultantes do tratamento biológico (tratamento baseado na atividade de organismos vivos, bactérias aeróbicas e outros microorganismos que promovem a oxidação da matéria orgânica dissolvida), são prensados e removidos como lamas secundárias e utilizados na estação de compostagem.

3.3.11 Aterro controlado de resíduos

Os resíduos produzidos na fábrica são recolhidos de forma seletiva sendo-lhe dado o tratamento/destino mais adequado.

Embora a estratégia de gestão de resíduos industriais não perigosos produzidos na unidade fabril aponte para a valorização de resíduos em detrimento da deposição em aterro controlado, tendo sido possível ao longo dos anos reduzir os montantes depositados mediante a adoção de medidas internas e externas de valorização, uma certa quantidade tem como destino o aterro controlado.

Trata-se de uma área impermeabilizada, com pontos de captação de escorrência de lixiviados que são encaminhados para a estação de tratamento de efluentes.

3.3.12 Estação de Compostagem de resíduos

Uma das medidas de redução de deposição de resíduos em aterro, com valorização, é a sua utilização na estação de compostagem.

Nessa estação, impermeabilizada com telas plásticas sendo os lixiviados drenados para a estação de tratamento de efluentes, os materiais orgânicos provenientes de resíduos da crivagem, resíduos do tratamento primário, lamas do tratamento secundário, cinzas secas da caldeira de biomassa e resíduos do Parque de Madeiras são convertidos em produtos mais estáveis. Os microorganismos degradam aerobicamente parte da fração orgânica, convertendo-a em dióxido de carbono, água e sais minerais. A outra parte sofre apenas humificação, obtendo-se um produto final estabilizado, higienizado, rico em nutrientes e substâncias húmidas assemelháveis a solo orgânico a que se dá o nome de composto.

3.3.13 Resíduos sólidos produzidos no processo

Resíduos da Caustificação e Forno da Cal:

Os resíduos da caustificação e forno são resíduos inorgânicos constituídos essencialmente por compostos de sódio, enxofre e cálcio.

Estes resíduos, tal como o nome indica, são originados na instalação de caustificação e forno da cal e têm as seguintes designações:

- “Dregs” ou resíduos de licor verde - Resíduos resultantes da operação do Filtro de Resíduos do Licor Verde, inserido no processo de filtração e recuperação de químicos presentes nos sedimentos extraídos dos Clarificadores de Licor Verde.

- “Grits” ou resíduos do apagador - Resíduos resultantes da operação do Apagador da Caustificação, inserido no processo de produção de Licor Branco a partir de Cal Viva e de Licor Verde clarificado.
- Resíduos de cal - Resíduos de cal viva, resultantes, da “purga” de cal viva na saída do Forno da Cal, quando necessária por motivos processuais, da descarga de cal de má qualidade, produzida em períodos de funcionamento anormal do Forno da Cal, da degradação de cal viva armazenada junto ao local de alimentação de cal do exterior ou de operações de desencravamento e limpeza de equipamentos, necessários para a execução de trabalhos.

O destino final destes resíduos na Celbi é a deposição no Aterro Controlado de Resíduos.

Resíduos da Crivagem:

Resíduos resultantes da operação dos equipamentos de crivagem de pasta crua, inseridos na instalação de Lavagem e Crivagem, rejeitados através da prensa de refugos da Crivagem. São constituídos essencialmente por fibras de celulose, lenhina, sais de sódio e enxofre, areias e outras impurezas.

O destino final destes resíduos na Celbi é a deposição em Compostagem (interna e externa).

Resíduos da Estação de Tratamento de Efluentes:

O tratamento de efluentes gera, essencialmente, dois tipos de lamas: lamas provenientes do tratamento primário, também designadas de fibras do tratamento primário, e lamas provenientes do tratamento biológico, também designadas de resíduos do tratamento secundário ou lamas biológicas.

As fibras do tratamento primário são constituídas essencialmente por fibras e matéria fibrosa residual, cinzas, areias e outras impurezas e resultam da operação dos equipamentos de tratamento primário inseridos na Estação de Tratamento de Efluentes (ETAR).

As lamas biológicas são constituídas essencialmente por fibras residuais, matéria orgânica coloidal, sais de sódio e enxofre, cinzas e outras impurezas e resultam da operação dos equipamentos do tratamento secundário (tratamento biológico) inseridos na Estação de Tratamento de Efluentes (ETAR).

O destino final das fibras do tratamento primário na Celbi é a deposição em Compostagem (interna e externa) e a reutilização na indústria de papel e cartão. O destino final das lamas biológicas é a deposição em Compostagem (interna).

4. Metodologia

De forma a concretizar os objetivos do trabalho do estágio, a metodologia adotada baseou-se na realização das seguintes tarefas:

1. Caracterização dos resíduos em estudo
2. Identificação do estado da arte e potencial de aplicação aos resíduos da Celbi
3. Estudo de potenciais vias de valorização
4. Contacto com empresas para procura de novas soluções

4.1. Caracterização dos resíduos e situação atual

Para obtenção de um melhor conhecimento dos resíduos em estudo foi efetuada uma caracterização dos mesmos.

A gestão de um resíduo sólido exige um conhecimento sistemático e aprofundado das suas características. Este conhecimento permite uma correta avaliação das potencialidades de tratamento/valorização do resíduo, diminuindo assim o seu impacto ambiental devido à aplicação de um destino não adequado.

Neste estágio, para caracterização dos resíduos em estudo, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica e foram analisados os resultados das análises efetuadas anualmente pela Celbi para controlo das características dos seus resíduos.

As análises efetuadas anualmente pela Celbi têm a finalidade de verificação da conformidade das mesmas com os valores limite estabelecidos no DL 276/2009 que estabelece o regime jurídico da utilização agrícola das lamas de depuração, e ainda para verificação da conformidade com o DL 183/2009 que estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro.

Para além do conhecimento dos resíduos em estudo foi ainda importante conhecer a situação atual de produção dos mesmos, bem como os custos atuais com a sua gestão.

4.2. Estado da Arte

Para identificação do estado da arte no que diz respeito à valorização dos resíduos em estudo foi efetuada uma pesquisa bibliográfica de artigos que abordassem soluções já existentes e aplicadas por outras empresas, bem como soluções que se encontrassem em fase de estudo.

Após a pesquisa efetuada, foi feito um resumo breve das conclusões mais relevantes de cada método de valorização encontrado na bibliografia. Este resumo possibilitou uma análise sucinta dos métodos e a avaliação do seu potencial de aplicação aos resíduos da Celbi.

Dos métodos analisados foram escolhidos dois que demonstraram um elevado potencial de aplicação, tendo estes sido alvo de um estudo mais aprofundado.

4.3. Potenciais vias de valorização

A realização da pesquisa bibliográfica referida em 4.2 permitiu identificar diversas possibilidades para a valorização dos resíduos em estudo. De entre as possibilidades identificadas destacaram-se duas cujo potencial de aplicação aos resíduos da Celbi demonstrou um maior interesse, tendo sido decidido investir num estudo mais aprofundado das mesmas.

As possibilidades escolhidas foram, a valorização energética de lamas biológicas na Caldeira de Recuperação e a peletização de resíduos para valorização energética.

No estudo aprofundado efetuado ao método de valorização de lamas biológicas na Caldeira de recuperação pretendeu-se avaliar:

- o impacte que a queima de lamas biológicas poderia ter no meio ambiente;
- o impacte que a queima de lamas biológicas poderia ter no processo e equipamentos;
- as alterações necessárias no processo para a sua implementação.

No estudo aprofundado efetuado ao método de peletização de resíduos para valorização energética pretendeu-se avaliar:

- a possibilidade de se produzir peletes a partir de resíduos da Celbi;
- as características físico-químicas das peletes produzidas, no sentido de se caracterizar cada tipologia, com vista à valorização energética;
- a viabilidade de produção de peletes na Celbi ou possível parceria com empresa de produção de peletes.

4.4. Contactos com empresas

Para além da pesquisa bibliográfica de novas possibilidades de valorização dos resíduos em estudo, foi também efetuada uma pesquisa ao mercado, nomeadamente a empresas de gestão de resíduos e empresas que pudessem ter interesse em utilizar os resíduos como sub-produtos

nos seus processos, na procura de soluções conhecidas por estas e/ou criação de parcerias para o desenvolvimento de novas soluções.

O método utilizado para efetuar a referida pesquisa ao mercado baseou-se na procura de empresas com licença para a gestão dos resíduos em estudo, através do site do Sistema de Informação do Licenciamento de Operações de Gestão de Resíduos (SILOGR) da Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

5. Apresentação e discussão de resultados

5.1. Caracterização dos resíduos e situação atual

O foco deste estágio foram os resíduos sólidos que resultam do processo de crivagem de pasta e tratamento de efluentes da Celbi (fibras do tratamento primário de efluentes e as lamas biológicas).

Da pesquisa bibliográfica efetuada sobre os resíduos em estudo concluiu-se que as características destes resíduos dependem muito do tipo de produto produzido pela fábrica, das características do seu processo e da sua matéria prima.

De uma forma genérica os resíduos da Celbi têm a seguinte constituição:

Resíduos da Crivagem (figura 4)



Figura 4 - Resíduos da crivagem da Celbi

- Principais constituintes: fibras, matéria orgânica (perda a 1000 °C > 90%)
- Principais elementos: sódio, enxofre.

- Outros elementos: fósforo, magnésio, potássio, cálcio, alumínio, ferro, silício e impurezas de natureza diversa resultantes da depuração da pasta crua (pequenas partículas de borracha, plástico, areias, etc.).
- Secura: 35 - 50 %
- Peso específico: 400 - 500 kg/m³; 140 - 200 kg a.s./m³
- Os resíduos e suas suspensões apresentam características alcalinas
- Os teores em metais pesados são irrelevantes
- Teor em fibras: 21 - 25%

Fibras do tratamento primário da ETAR (figura 5)



Figura 5 - Fibras do tratamento primário da ETAR (lamas primárias) da Celbi

- Principais constituintes: fibras de celulose (perda a 1000 °C > 98%)
- Principais elementos: sódio, enxofre, cálcio, matéria orgânica
- Outros elementos: fósforo, magnésio, potássio, alumínio, ferro, silício e impurezas de natureza diversa presentes nos efluentes com fibras (pequenas partículas de cinzas, ferrugem, borracha, plástico, madeira, areias, etc.)

- Secura: 20 - 30 %
- Peso específico: 540 - 670 kg/m³; 190 - 230 kg a.s./m³
- Os resíduos e suas suspensões não são ácidos nem alcalinos
- Os teores em metais pesados são irrelevantes
- Poder calorífico inferior: 3700 - 4000 kcal/kg a.s.

Lamas do tratamento secundário da ETAR (figura 6)



Figura 6 - Lamas do tratamento secundário da ETAR da Celbi

- Principais constituintes: lamas orgânicas resultantes do tratamento biológico do efluente e fibras de celulose (perda a 1000 °C > 98%)
- Principais elementos: sódio, enxofre, cálcio.
- Outros elementos: fósforo, magnésio, potássio, alumínio, ferro, silício e impurezas de natureza diversa presentes nos efluentes (pequenas partículas de cinzas, ferrugem, borracha, plástico, madeira, areias, etc.)
- Secura: 25 – 35 %
- Peso específico: 800 - 900 kg/m³; 200 - 300 kg a.s./m³

- Os resíduos e suas suspensões não são ácidos nem alcalinos
- Os teores em metais pesados são irrelevantes
- Poder calorífico inferior: <4000 kcal/kg a.s.

Os resíduos alvo deste estudo são resíduos não perigosos denominados por rejeitados de fibras e lamas de fibras, *fillers* e revestimentos, provenientes de separação mecânica (resíduos da crivagem e Fibras do tratamento primário da ETAR) e lamas do tratamento local de efluentes, não abrangidas em 03 03 10 (Lamas do tratamento secundário da ETAR) segundo a decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro (Lista Europeia de Resíduos – LER), onde também são apresentados os códigos LER dos diferentes resíduos na Tabela 1.

Tabela 1 - Códigos LER, segundo a decisão 2014/955/UE, da Comissão, de 18 de dezembro

Denominação do resíduo	Designação LER	Código LER
Resíduos da crivagem	rejeitados de fibras e lamas de fibras, <i>fillers</i> e revestimentos, provenientes de separação mecânica	03 03 10
Fibras do tratamento primário		
Lamas biológicas	lamas do tratamento local de efluentes, não abrangidas em 03 03 10	03 03 11

Também, segundo a pesquisa bibliográfica efetuada, os resíduos em estudo apresentam a possibilidade de serem aplicados no solo, sendo a legislação para deposição de resíduos em solo nacional o Decreto-Lei n.º 276/2009, 2 de outubro, que estabelece o regime de utilização de lamas de depuração em solos agrícolas.

De acordo com o referido Decreto-Lei, apenas as lamas biológicas, código LER 030311, são consideradas lamas de depuração, no entanto, a Celbi procede anualmente à análise dos parâmetros definidos neste Decreto-Lei para todos os seus resíduos orgânicos. Apesar de não depositar nenhum destes resíduos diretamente no solo, estes resíduos são aplicados em compostagem. O cumprimento dos limites de concentração definidos no Decreto-Lei n.º 276/2009 é uma indicação de que a aplicação dos mesmos em compostagem não prejudica a qualidade do meio ambiente, em especial das águas e dos solos, e não constitui um risco para a saúde pública.

Tabela 2 - Caracterização dos resíduos de acordo com o Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro

Parâmetro	Unidade	Resíduos da crivagem	Fibras do tratamento primário	Lamas biológicas	DL 276/2009

Matéria seca a 105º	% (m/m)	53,6	37,1	24,3	
Matéria orgânica	% (m/m)	93,8	66,8	78,2	
pH	---	8,9	8,3	7,2	
Azoto total	mg/kg	373	539	70800	
Azoto nítrico	mg/kg	<10 (LQ)	<10 (LQ)	<10 (LQ)	
Azoto amoniacal	mg/kg	<10 (LQ)	<10 (LQ)	6470	
Fósforo total	mg/kg	30	730	4220	
Potássio	mg/kg	1000	880	4100	
Magnésio	mg/kg	180	570	2000	
Cálcio	mg/kg	1500	110000	60600	
Cádmio	mg/kg	<0,2 (LQ)	<0,2 (LQ)	1,5	20
Cobre	mg/kg	<1 (LQ)	4	28	1000
Níquel	mg/kg	<1 (LQ)	16	11	300
Chumbo	mg/kg	<2 (LQ)	7	55	750
Zinco	mg/kg	10	30	155	2500
Mercúrio	mg/kg	<0,07 (LQ)	<0,07 (LQ)	0,29	16
Crómio	mg/kg	1	31	21	1000
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	mg/kg	<0,16 (LQ)	<0,16 (LQ)	<0,16 (LQ)	6
PCB (compostos bifenilos policlorados)	mg/kg	<0,12(LQ)	<0,12(LQ)	<0,12(LQ)	0,8
LAS (alquilo benzenossulfatos lineares)	mg/kg	34	22	19	5000
NPE (nonilfenóis e nonilfenóis etoxilados)	mg/kg	<200 (LQ)	<200 (LQ)	<200 (LQ)	450

Da análise da tabela 2, verifica-se que os resíduos em estudo, cumprem com os critérios definidos no Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro.

Anualmente a Celbi também procede à caracterização dos seus resíduos de acordo com o Decreto-Lei nº 183/2009 de 10 de Agosto, que estabelece o regime jurídico da deposição de resíduos em aterro, e os requisitos gerais a observar na conceção, construção, exploração, encerramento e pós-encerramento de aterros, incluindo as características técnicas específicas para cada classe de aterros.

O referido Decreto-Lei tem como objetivos evitar ou reduzir os efeitos negativos sobre o ambiente da deposição de resíduos em aterro, quer à escala local, em especial a poluição das águas superficiais e subterrâneas, do solo e da atmosfera, quer à escala global, em particular o efeito de estufa, bem como quaisquer riscos para a saúde humana.

Atualmente a Celbi detém uma licença de exploração do seu Aterro Controlado de Resíduos (ACR) que admite a deposição dos resíduos em estudo, caso estes cumpram com os parâmetros definidos no Decreto-Lei nº 183/2009 de 10 de Agosto, para Aterros de resíduos não perigosos.

Tabela 3 - Caracterização dos resíduos de acordo com o Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto

Parâmetro	Unidade	Resíduos da crivagem	Fibras do tratamento primário	Lamas biológicas
pH	---		7,8	8,1
Cloreto	mg/kg	360	610	520
Fenóis (índice fenólico)	mg/kg	0,55	<0,10 (LQ)	30
Fluoreto	mg/kg	<2 (LQ)	<2 (LQ)	4
Sulfato	mg/kg	5100	4500	28
Arsénio	mg/kg	<0,01 (LQ)	<0,01 (LQ)	0,19
Cádmio	mg/kg	<0,003 (LQ)	<0,003 (LQ)	<0,003 (LQ)
Chumbo	mg/kg	<0,01 (LQ)	0,02	0,04
Cobre	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	0,10
Crómio	mg/kg	<0,01 (LQ)	0,01	0,06
Mercúrio	mg/kg	<0,002 (LQ)	<0,002 (LQ)	<0,002 (LQ)
Níquel	mg/kg	<0,01 (LQ)	0,30	0,48
Zinco	mg/kg	0,2	<0,1 (LQ)	0,5
Carbono Orgânico Total	mg/kg	420000	260000	420000

Bário	mg/kg	0,60	0,24	0,22
Molibdénio	mg/kg	0,05	0,14	0,02
Antimónio	mg/kg	<0,01 (LQ)	<0,01 (LQ)	<0,01 (LQ)
Selénio	mg/kg	<0,01 (LQ)	0,02	0,02
Hidrocarb. Aromat. Polinucl.				
Naftaleno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Acenaftileno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Acenafteno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Fluoreno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Fenantreno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Antraceno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Fluoranteno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Pireno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Benzo(a)antraceno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Criseno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Benzo(a)pireno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Perileno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Benzo(g,h,i)perileno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Indeno(1,2,3-cd)pireno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
BTEX				
Benzeno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
Tolueno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	0,42
Etilbenzeno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
o-Xileno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
m-Xileno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)

p-Xileno	mg/kg	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)	<0,05 (LQ)
PCB				
PCB 28	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
PCB 52	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
PCB 101	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
PCB 118	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
PCB 138	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
PCB 153	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
PCB 180	mg/kg	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)	<0,01(LQ)
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/kg	20000	470	3600
Óleo mineral (C10 a C40)	mg/kg	110	6100	6300
Capacidade Neutraliz. Acida	mmol/kg	8330	7780	2370
AOX	mg/kg	13	190	1500

Tabela 4 - Critérios de admissão de resíduos em aterros de inertes, de resíduos não perigosos, de resíduos não perigosos e perigosos estáveis e de resíduos perigosos, de acordo com o Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto

Parâmetro	Aterro de inertes	Aterro de resíduos não perigosos	Aterro de resíduos não perigosos e perigosos estáveis	Aterro de resíduos perigosos
Cloreto	800	15000	15000	25000
Fenóis (índice fenólico)	1			
Fluoreto	10	250	150	500
Sulfato	1000	20000	20000	50000
Arsénio	0,5	5	2	25
Cádmio	0,04	2	1	5
Chumbo	0,5	10	10	50
Cobre	2	50	50	100

Crómio	0,5	20	10	70
Mercúrio	0,01	0,5	0,2	2
Níquel	0,4	10	10	40
Zinco	4	50	50	200
Carbono Orgânico Total	30000		5%	6%
Bário	20	100	100	300
Molibdénio	0,5	10	10	30
Antimónio	0,06	0,7	0,7	5
Selénio	0,1	0,5	0,5	7
BTEX	6			
PCB	1			
Carbono Orgânico Dissolvido	500	1000	800	1000
Óleo mineral (C10 a C40)	500			
Capacidade Neutraliz. Acida			avaliar	avaliar
pH			mínimo 6,0	

Da análise das tabelas 3 e 4, verifica-se que os resíduos em estudo, à exceção das fibras do tratamento primário, não cumprem com os critérios de admissão em aterro de resíduos não perigosos, devido ao elevado valor de carbono orgânico dissolvido, não podendo por este motivo ser depositados no ACR da Celbi. Devido à política de privilegiar a valorização dos seus resíduos à deposição dos mesmos em aterro, não tem sido prática da Celbi depositar resíduos orgânicos no seu ACR.

Como referido anteriormente, os resíduos orgânicos produzidos na Celbi correspondem a 50% do total de resíduos produzidos, sendo que, nesta percentagem estão incluídos os resíduos do parque de madeiras que não foram o foco deste estágio. Considerando apenas os resíduos do tratamento de efluentes e crivagem obtemos uma percentagem de cerca de 40% dos resíduos produzidos.

A Celbi produz atualmente 79 ton/dia dos resíduos em estudo, sendo que 23 ton correspondem a resíduos do tratamento primário, 24 ton a lamas biológicas e 32 ton a resíduos da crivagem. Os resíduos do tratamento primário são valorizados na compostagem interna da Celbi, cerca de 24% e são ainda enviados para valorização externa para uma empresa de produção de pasta de papel (cerca de 76%).

As lamas biológicas são na sua totalidade valorizadas na compostagem interna da Celbi. Os resíduos da crivagem são também na sua totalidade valorizados em compostagem, no entanto cerca de 95% são enviados para uma empresa externa e apenas 5% são valorizados na compostagem interna da Celbi.

Atualmente os custos de valorização destes de resíduos (figura 7) representam um valor muito elevado para a empresa, ascendendo a mais de 1000 €/dia.

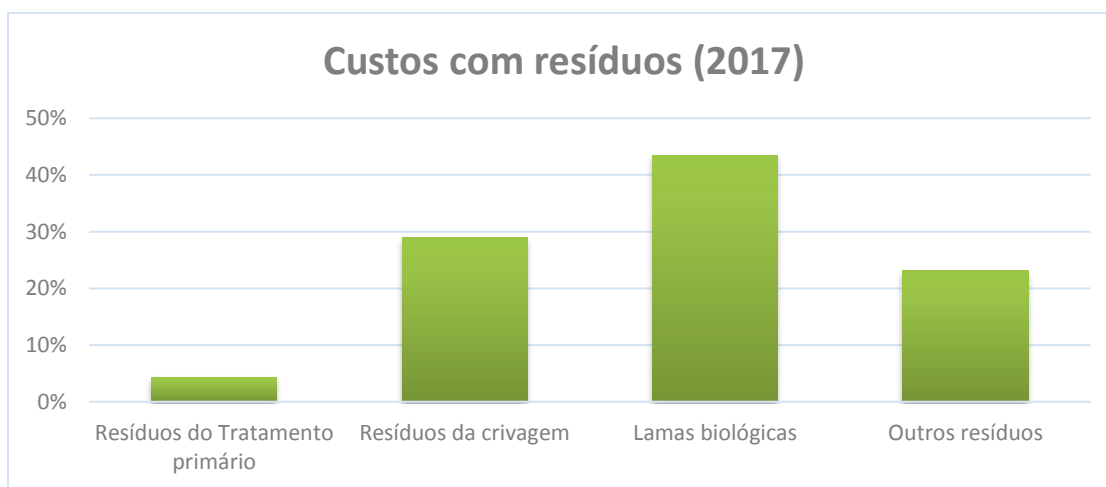


Figura 7 - Contribuição dos resíduos orgânicos para os custos totais com resíduos (Celbi, 2018)

Do gráfico anterior é possível verificar que, como referido anteriormente, os custos da Celbi para tratamento dos seus resíduos orgânicos são muito elevados, destacando-se destes custos o de tratamento das lamas biológicas. É importante referir que os custo de tratamento das lamas biológicas da Celbi é considerado como sendo o custo de manter a sua estação de compostagem de resíduos. Isto porque a estação de compostagem de resíduos da Celbi foi construída apenas para o tratamento das lamas biológicas, sendo que os restantes resíduos têm todos alternativa para valorização.

5.2. Estado da Arte

Como referido anteriormente, a estratégia de gestão de resíduos industriais não-perigosos produzidos na unidade fabril da CELBI aponta para a valorização de resíduos, em detrimento da deposição em aterro controlado.

Assim, ao longo dos anos, foi possível reduzir progressivamente os montantes de resíduos depositados em aterro controlado, mediante a adoção de medidas internas e externas de valorização.

Uma dessas medidas é a compostagem de resíduos orgânicos (resíduos do parque de madeiras, resíduos da crivagem de pasta e resíduos primários e secundários do tratamento de efluentes). Representando esta classe de resíduos uma fração que ascende a cerca de 50% dos montantes produzidos.

O grande objetivo da unidade de compostagem da Celbi é o processamento de resíduos orgânicos produzidos nas áreas de processamento de madeira para o processo e de tratamento secundário de efluentes, no entanto, é possível utilizar outros resíduos de carácter fibroso que não possam ser enviados para valorização externa, tais como resíduos da crivagem e resíduos do tratamento primário de efluentes.

A técnica de compostagem, sendo simples de executar, envolve apenas operações físicas (preparação de pilhas, arejamento e movimentação de material e crivagem final).

A compostagem é um processo biológico controlado de conversão e valorização dos substratos orgânicos num produto estabilizado, higienizado, rico em compostos húmicos, semelhante a solo orgânico.

O principal objetivo da compostagem é a decomposição parcial da matéria orgânica presente nos resíduos, para que se obtenha a maior quantidade de húmus.

Trata-se, assim, de um processo de decomposição bio-oxidativa da matéria orgânica levada a cabo por microrganismos como bactérias e fungos, em condições adequadas, nomeadamente quanto à disponibilidade de oxigénio, humidade e nutrientes, do qual resulta a libertação de energia.

Durante o processo, os materiais orgânicos são convertidos em produtos mais estáveis. Os microrganismos degradam aerobiamente parte da fração orgânica, convertendo-a em dióxido de carbono, água e sais minerais. A outra parte sofre apenas humidificação, obtendo-se um produto

final estabilizado, higienizado e rico em nutrientes e substâncias húmicas, a que se dá o nome de composto.

O composto, semelhante a uma terra rica em matéria orgânica, pode ser utilizada em áreas agrícolas e florestais ou usada como solo em certas aplicações. Atualmente o composto gerado na Estação de Compostagem de resíduos da Celbi é na sua totalidade enviada para as propriedades da empresa Altriflorestal que é a responsável pela gestão das propriedades florestais pertencentes ao grupo Altri.

Para além do envio parte dos seus resíduos orgânicos para a sua compostagem interna, a Celbi envia também parte dos seus resíduos para empresas externas de compostagem.

Outra medida de valorização dos resíduos orgânicos na Celbi é o envio de resíduos do tratamento primário de efluentes para uma empresa de produção de embalagens de cartão.

Esta empresa utiliza na sua produção papel reciclado e resíduos do tratamento primário da Celbi, sendo que o seu produto é fabricado exclusivamente com fibras provenientes destes resíduos. Os resíduos do tratamento primário da produção de pasta de papel têm algumas propriedades em comum com o papel reciclado, tais como: (1) ambos podem ser reutilizados na indústria de papel e cartão; (2) dependendo da sua origem, ambos contêm quantidades consideráveis de fibras e enchimentos da fabricação de papel; (3) ambos se encontram frequentemente contaminados com outros componentes que limitam a sua aplicabilidade e devem ser removidos (referência). Este facto sugere que estes resíduos podem ser geridos em conjunto na produção de papel/cartão.

O processo industrial de reciclagem de papel é semelhante ao fabrico de papel virgem, sendo o primeiro menos intensivo. A reciclagem do papel é conseguida através do aproveitamento das fibras de celulose existentes nos papéis usados (referência).

As fases do processo industrial da empresa são resumidamente as seguintes:

- Desfibragem/desintegração – os resíduos são alimentados a um desfibrador mecânico que juntamente com água, enfraquece as ligações entre as fibras, formando a pasta de celulose;
- Depuração - consiste na remoção das impurezas/contaminantes (plásticos e outros materiais não celulósicos) presentes na pasta. A depuração é feita em crivos e a lavagem através de telas de plástico, em que a dimensão da rede vai diminuindo nas sucessivas fases;

- Moldagem, secagem e embalagem – após a depuração a pasta é conformada na forma desejada através do uso de moldes existindo para o efeito máquinas designadas de moldadoras. Terminada a conformação as embalagens são enviadas através de tapetes transportadores para os secadores existentes a jusante. Após a saída dos secadores o produto é encaminhado até às embaladoras ou prensas, consoante o tipo de embalagem que se esteja a produzir.
- Acabamento – as embalagens produzidas são compactadas, cintadas e armazenadas em paletes filmadas para posterior armazenagem e comercialização.

Os métodos utilizados pela Celbi para valorização dos seus resíduos orgânicos são ambos bastante utilizados na indústria de pasta de papel e referidos em vários artigos bibliográficos, no entanto, atualmente, e como já referido, estes apresentam algumas desvantagens e custos acrescidos. Neste sentido, foram consultados vários estudos da literatura na procura de novas abordagens ao tratamento e valorização destes resíduos, as quais são descritas resumidamente na tabela 6.

Tabela 5 - Descrição sucinta dos métodos de valorização para resíduos orgânicos da indústria de pasta e papel

Método de valorização	Autor	Principais resultados/conclusões
Valorização energética em caldeiras de casca	Öberg, 2016 Scott e Smith, 1995	Este é um método muito comum de valorização de resíduos orgânicos na indústria de pasta e papel. O método consiste na mistura destes resíduos com casca procedendo à sua queima em caldeiras para a produção de energia elétrica. Este método apresenta algumas desvantagens devido às características dos resíduos (teor em cinzas, oxigénio e humidade) dificultarem a queima dos mesmos, comparativamente com a casca. O teor de humidade dos resíduos é mais elevado que o da casca o que faz aumentar a humidade na caldeira, baixando a temperatura de combustão. Tal como a humidade, o teor elevado de cinza e baixo de oxigénio reduz ainda mais a temperatura da zona de combustão. Assim sendo, para que a queima destes resíduos possa ser efetuada nas

caldeiras de casca de forma eficiente, estes devem ser misturados com casca por forma a que o teor de humidade da mistura não exceda os 60%, caso contrário poderá ser necessário recorrer a combustíveis suplementares para se efetuar uma combustão adequada. Além disso, caso o teor de humidade seja elevado, pode ocorrer incrustação do material e os produtos da queima depositarem-se no leito da caldeira o que pode exigir uma limpeza e substituição do material do leito mais frequente.

Além disso, a composição dos resíduos poderá conter quantidades significativas de elementos químicos, tais como cloro, azoto e enxofre, que podem causar danos na caldeira (corrosão), aumentando a necessidade de manutenção do equipamento ou potenciar o aumento de poluentes gasosos.

Valorização energética em caldeiras de recuperação

Harila e Kivilinna, 1999
Burelle et al, 2016

Este é um método já utilizado há bastante tempo e com muito sucesso em fábricas do norte da Europa. O método consiste em misturar as lamas biológicas do tratamento secundário de efluentes com o licor negro e proceder à sua valorização energética na caldeira de recuperação. Este método oferece alguns benefícios quando comparado com outros métodos tradicionais. Relativamente à compostagem e espalhamento das lamas no solo, as vantagens são a diminuição dos odores para a vizinhança e do custo de tratamento. Relativamente à queima dos resíduos em caldeiras de biomassa, este método é vantajoso uma vez que, devido à proporção de lamas ser significativamente baixa relativamente ao licor negro que é queimado na caldeira de recuperação, não se verificam as mesmas dificuldades que nas caldeiras de biomassa (perda de eficiência térmica/geração de vapor, perda de estabilidade de

		<p>combustão, aumento de fenómenos de corrosão e aumento dos poluentes atmosféricos).</p> <p>Nos artigos estudados concluiu-se que não se verificaram impactes negativos significativos para o ambiente decorrentes da aplicação deste método, nem se verificaram impactos negativos significativos para o processo de recuperação de químicos.</p>
Produção de biogás	Karlsson et al., 2011 Hagelqvist, 2013	<p>O potencial de produção de biogás a partir de lamas do tratamento de efluentes da produção de pasta e papel varia de acordo com o produto produzido, sendo que este potencial é mais elevado nas lamas produzidas em fábricas de papel e cartão do que nas fábricas de pasta.</p> <p>Em ambos os estudos é referida a necessidade de fontes adicionais de nutriente para melhorar a digestibilidade e produção de metano.</p> <p>Para que este método não se torne demasiado oneroso, deve ser tido em conta a localização do local de produção de biogás para que não haja um transporte excessivo do mesmo, nem dos resíduos necessários à sua produção.</p>
Produção de peletes para valorização energética	Nosek, et al., 2017 Wiegand e Unwin, 1994	<p>O motivo mais comum para a produção de peletes é a sua utilização como combustível alternativo.</p> <p>Existem, outras utilizações de peletes tais como, substituto de areia para gatos e camas de aviários e outros animais, existindo no Estados Unidos da América algumas fábricas a utilizar este método de valorização.</p> <p>No que diz respeito ao uso dos peletes como combustível os artigos consultados concluíram que é possível a produção de peletes a partir de resíduos orgânicos da produção de pasta e papel. Os peletes foram produzidos a partir de diferentes misturas de resíduos e madeira (serradura), tendo-se verificado que o poder calorífico inferior (PCI) dos peletes produzidos exclusivamente com resíduos era significativamente menor que o PCI dos peletes produzidos exclusivamente com madeira, bem</p>

Produção de MDF (medium density fiberboard)	Geng et al., 2005	<p>como o teor em cinzas se verificou muito superior no caso dos resíduos. No caso de peletes produzidos com misturas de resíduos e madeira foram obtidos resultados satisfatórios em misturas com percentagens mais elevadas de madeira, na ordem dos 30% de resíduos e 70% madeira.</p>
Produção de nanocompósitos a partir de lamas primárias	Leão et al., 2012	<p>No artigo estudado é feita a comparação da capacidade de produção de painéis de fibra de média densidade (MDF) a partir de uma mistura de resíduos do tratamento de efluentes (80% lamas primárias e 20% lamas secundárias) da produção de pasta de papel, de lamas da destintagem da produção de papel reciclado e de madeira de pinho.</p> <p>Foram testadas várias misturas de diferentes proporções dos resíduos e madeira de pinho.</p> <p>Concluiu-se que a mistura de lamas do tratamento de efluentes contém um maior teor de fibras e fibras mais longas que as lamas da destintagem, bem como um menor teor de cinzas. Nos painéis produzidos com uma mistura numa proporção igual de pinho para lamas do tratamento de efluentes obteve-se melhores propriedades mecânicas do que numa mistura de igual proporção de pinho e lamas da destintagem. Assim sendo as lamas do tratamento de efluentes demonstram ser mais adequadas para a produção de MDF do que as lamas da destintagem.</p> <p>Verificou-se ainda que é possível a produção de MDF substituindo até 70% da madeira de pinho por lamas do tratamento de efluentes, concluindo-se o excelente potencial destas lamas para esta aplicação.</p> <p>No artigo estudado foi possível concluir que é possível o isolamento de nanofibrilhas a partir de lamas primárias do tratamento de efluentes da produção de pasta e papel. Foi possível verificar, com os testes efetuados, a</p>

		<p>separação de nanofibrilhas individualizadas com diâmetro inferior a 100 nm e a extração de nanofibras contínuas com um diâmetro uniforme de aproximadamente 12 nm formando uma rede extremamente fina. A nanocelulose desenvolvida e os seus compósitos demonstraram ser um material versátil com uma ampla gama de aplicações na área da biomédica e biotecnologia.</p>
Produção de argamassas	Azevedo et al., 2018	<p>O artigo estudado teve como objetivo testar a substituição de cal, na produção de argamassas, por lamas do tratamento de efluentes de uma fábrica de papel nas seguintes percentagens: 5%, 10%, 15% e 20%. Os testes técnicos efetuados às amostras de diferentes percentagens de lamas em substituição de cal demonstraram que tanto os parâmetros de incorporação de ar como de retenção de água se encontram dentro dos limites suportados pela literatura, bem como nos limites de segurança recomendados, para misturas de até 10% de lamas. Em misturas mais elevadas verificaram-se problemas nestes parâmetros.</p> <p>A avaliação das propriedades mecânicas das argamassas produzidas com lamas demonstrou o seu potencial de aplicação na construção, no entanto, mais uma vez se verificou que não é aconselhável exceder os 10% de lamas na argamassa.</p> <p>Os testes de durabilidade efetuados confirmam também, não ser aconselhável exceder em 15% a substituição de cal.</p> <p>Foram ainda efetuados testes a elementos tóxicos nas amostras de argamassa produzidas que demonstraram ser seguro a adição de lamas, tanto para o ambiente como para os utilizadores, justificando assim a classificação destes resíduos como não perigosos.</p>

		Assim sendo, conclui-se com este artigo que a substituição de cal por resíduos do tratamento de efluentes é satisfatória para percentagens máximas de 10%.
Produção de açúcares a partir de lamas biológicas	Romaní et al., 2007	<p>O artigo estudado refere-se a um estudo sobre a hidrólise enzimática de lamas biológicas do tratamento de efluentes de uma fábrica de pasta de papel pelo processo kraft.</p> <p>Os resultados obtidos demonstraram que o resíduo apresenta uma elevada digestibilidade enzimática e que não são necessários pré-tratamentos para melhorar a etapa de sacarização. Este facto torna este resíduo uma potencial matéria prima para a produção de ácido láctico. Está a ser continuado o trabalho experimental deste estudo.</p>

Dos métodos apresentados anteriormente destacaram-se alguns como tendo um maior potencial de aplicação para os resíduos da Celbi, tais como, valorização energética das lamas biológicas em caldeiras de recuperação, produção de peletes para valorização energética, produção de MDF, produção de nanocompósitos e produção de argamassas. Na literatura estudada acerca destes métodos concluiu-se que para todos é possível utilizar resíduos da indústria de pasta de papel, com algum sucesso, mesmo que apenas seja possível a utilização de pequenas percentagens dos mesmos.

Para a realização deste estágio foi decidido estudar mais aprofundadamente apenas dois destes métodos. A escolha recaiu sobre a valorização energética das lamas biológicas em caldeiras de recuperação e a produção de peletes para valorização energética. Esta escolha deveu-se ao facto de serem ambos métodos que a Celbi poderia analisar sem a necessidade de parceiros e/ou conhecimentos mais específicos sobre as técnicas abordadas.

5.3. Potenciais métodos de valorização

5.3.1. Valorização energética de lamas biológicas na Caldeira de Recuperação

Esta solução de valorização de lamas biológicas foi adotada desde os anos 90 do século passado por muitas das fábricas de pasta de papel do Norte da Europa, designadamente na Suécia e Finlândia que são os maiores produtores de pasta de papel da Europa.

As lamas biológicas são o resíduo mais problemático do processo de tratamento de efluentes no que diz respeito ao destino a dar ao mesmo devido à dificuldade de desidratar as lamas a um nível aceitável (Burelle *et al.*, 2016).

O elevado conteúdo de humidade das lamas (muitas vezes acima de 80%) dificulta e eleva os custos de colocação deste resíduo em aterro ou a sua incineração numa caldeira de casca.

Algumas fábricas na Europa, já desde 1994 optaram por misturar as lamas biológicas com o licor negro proveniente do cozimento de madeira, misturá-los nos evaporadores e queimar na Caldeira de Recuperação.

Os fatores mais importantes a ter em conta quando se queimam lamas biológicas na Caldeira de Recuperação, de acordo com o estudo de Harila e Kivilinna (1999), são os seguintes:

- O Pré-tratamento das lamas
- O comportamento das lamas durante a evaporação
- Alterações no processo de combustão
- Elementos não processuais nas lamas e o seu comportamento e acumulação no equipamento e no ciclo de recuperação de químicos
- Corrosão e outros riscos
- Efeitos nas emissões atmosféricas
- Economia/custos

A fábrica de pasta de papel Metsä-Botnia Kemi foi a primeira fábrica no mundo a valorizar as suas lamas biológicas na caldeira de recuperação. O início desta aplicação foi em 1993. Desde essa altura, seis outras fábricas de pasta de papel na Europa instalaram sistemas idênticos para tratamento das suas lamas biológicas (Burelle *et al.*, 2016).

O método de tratamento consiste em desidratar mecanicamente as lamas biológicas e misturá-las com o licor negro fraco, sendo posteriormente a mistura enviada para a instalação de

evaporação convencional onde será concentrada antes de alimentada à Caldeira de recuperação.

De acordo com Burelle *et al.* (2016), as lamas biológicas são extraídas da bacia ou reator com um conteúdo de sólidos muito baixo, entre 0,5 a 2%. Usualmente a desidratação de lamas possibilita atingir entre 10 a 20% de sólidos nas lamas. Para uma fábrica de pasta de papel típica o conteúdo de sólidos nas lamas biológicas corresponde a cerca de 1% do conteúdo de sólidos do licor negro.

O impacto da adição de lamas biológicas ao licor negro foi abordado em ambos os estudos de Burelle *et al.* (2016) e Harila e Kivilinna (1999), tendo-se concluído que o comportamento da combustão de licor negro e da mistura de licor negro com lamas biológicas é bastante similar. Não foi notada qualquer alteração na operação da caldeira após o início da valorização das lamas biológicas em nenhuma das fábricas que implementaram este método.

Para avaliar a viabilidade de valorização das lamas biológicas da Celbi na sua Caldeira de Recuperação tornou-se importante efetuar uma análise comparativa das lamas produzidas com o licor negro alimentado à Caldeira de Recuperação.

Tabela 6 – Concentração de substâncias perigosas presentes no licor negro e nas lamas biológicas

Parâmetro	Unidade	Licor Negro	Lamas biológicas
Cádmio	mg/kg	<5 (LQ)	1,5
Cobre	mg/kg	<10	28
Níquel	mg/kg	<30	11
Chumbo	mg/kg	<50	55
Zinco	mg/kg	<20	155
Mercúrio	mg/kg	<2,5 (LQ)	0,29
Crômio	mg/kg	<30	21
PAH (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos)	mg/kg	<4,1 (LQ)	<0,16 (LQ)
PCB (compostos bifenilos policlorados)	mg/kg	<0,35(LQ)	<0,12(LQ)

Como se pode verificar, as lamas biológicas, tal como o licor negro têm concentrações reduzidas de metais pesados e de compostos orgânicos perigosos.

Esta situação corresponde ao esperado visto que concentrações elevadas de substâncias perigosas impediriam a atividade biológica do tratamento secundário da ETAR da Celbi.

Relativamente ao licor negro alimentado à Caldeira de Recuperação da Celbi, verifica-se igualmente a ausência de metais pesados ou de compostos orgânicos perigosos, sendo neste caso, todos os valores obtidos inferiores aos limites de quantificação dos métodos analíticos utilizados.

Seguidamente, foi essencial avaliar a capacidade do processo da Celbi de efetuar esta valorização.

Atualmente a Celbi tem uma capacidade instalada na sua instalação de evaporação de 590 t/h, enquanto que os valores normais de operação rondam os 545 t/h pelo que existe capacidade suficiente para a adição de lamas biológicas ao processo quase sem alterações significativas nos valores atuais visto o caudal previsto de lamas biológicas a adicionar ao processo ser muitíssimo reduzido, face ao caudal de licor negro.

Avaliou-se ainda o impacte que esta valorização poderia ter ao nível das emissões gasosas da Caldeira de Recuperação.

A Caldeira de Recuperação da Celbi queima atualmente, para além do licor negro, os gases odorosos com metanol, os gases mal odorosos concentrados e diluídos e os gases de exaustão do tanque de dissolução. Todos estes combustíveis influenciam as emissões de NOx que atualmente se mantêm em níveis bastante aceitáveis face às obrigações legais da Celbi.

Como foi possível verificar no ponto 5.1 (Caracterização de resíduos), as lamas biológicas contêm uma elevada concentração de azoto. O aumento de azoto no licor negro pode potenciar um aumento de emissões de compostos de azoto (NOx) o que não é desejável. No entanto, e como referido anteriormente, o caudal de lamas biológicas será muito reduzido face à queima de licor negro, não se prevendo que o acréscimo de azoto provocado por este caudal influencie as emissões de NOx.

Para comprovar que o caudal de lamas biológicas não será relevante para o processo de recuperação de químicos da Celbi foi efetuado o seguinte balanço de massas (na base seca):

- Consumo atual de licor negro na Celbi é de 110 t a.s./h
- Produção de lamas biológicas é de 1 t a.s./h
- A relação Lamas biológicas/Licor negro é de 0,91 %

Desta forma, e como previsto anteriormente, terá um significado muito reduzido o consumo de lamas biológicas em relação ao consumo de licor negro, não sendo por isso expectáveis quaisquer alterações nas emissões gasosas da caldeira de recuperação da Celbi.

Outra grande preocupação relativa à utilização desta aplicação para as lamas biológicas prende-se com o impacto do potencial de aumento da concentração de elementos não-processuais (NPE) no circuito recuperação de licores, tais como, alumínio (Al), cálcio (Ca), ferro (Fe), potássio (K), cloro (Cl), magnésio (Mg) e fósforo (P). Os elementos não processuais consistem de alguns elementos químicos, iões, catiões, sais e outros radicais químicos formados durante o processo, os quais não fazem parte do mesmo e que ao reagir com os químicos processuais podem causar desequilíbrios nas reações químicas que se pretendem que ocorram para a produção da pasta. Como verificado anteriormente no ponto 5.1 as lamas biológicas contêm quantidades significativas destes elementos, logo há a possibilidade de a concentração dos mesmos aumentar no circuito de recuperação de licores. Também como referido anteriormente, a quantidade de lamas biológicas é muito reduzida quando comparada com a licor negro alimentado à caldeira de recuperação, no entanto, se estes elementos não forem purgados do sistema, e uma vez que o produto da queima da caldeira de recuperação é recuperado para o processo, pode-se verificar uma acumulação gradual destes elementos, que podem causar instabilidade processual.

Na literatura, nomeadamente no estudo de Burrelle *et al.* (2016) é referido que o potencial aumento de NPE no ciclo de recuperação de licores decorrente da valorização energética de lamas na caldeira de recuperação é muito específico de fábrica para fábrica, dependendo dos NPE existentes no processo, nas purgas destes elementos efetuadas ao longo do processo e na concentração dos mesmos nas lamas biológicas. Relativamente ao estudo de Harila e Kivilinna (1999), é referido que, na monitorização efetuada entre 1993 e 1998 não foram encontrados pontos de acumulação de NPE.

Na Celbi, apesar de não se prever que a acumulação de NPE venha a ser um problema, uma vez que é expectável que estes sejam purgados na instalação de caustificação, este será um tema a acompanhar de perto aquando do início da aplicação deste método.

Com base na literatura consultada, apresenta-se na figura 8 a solução a implementar na Celbi.

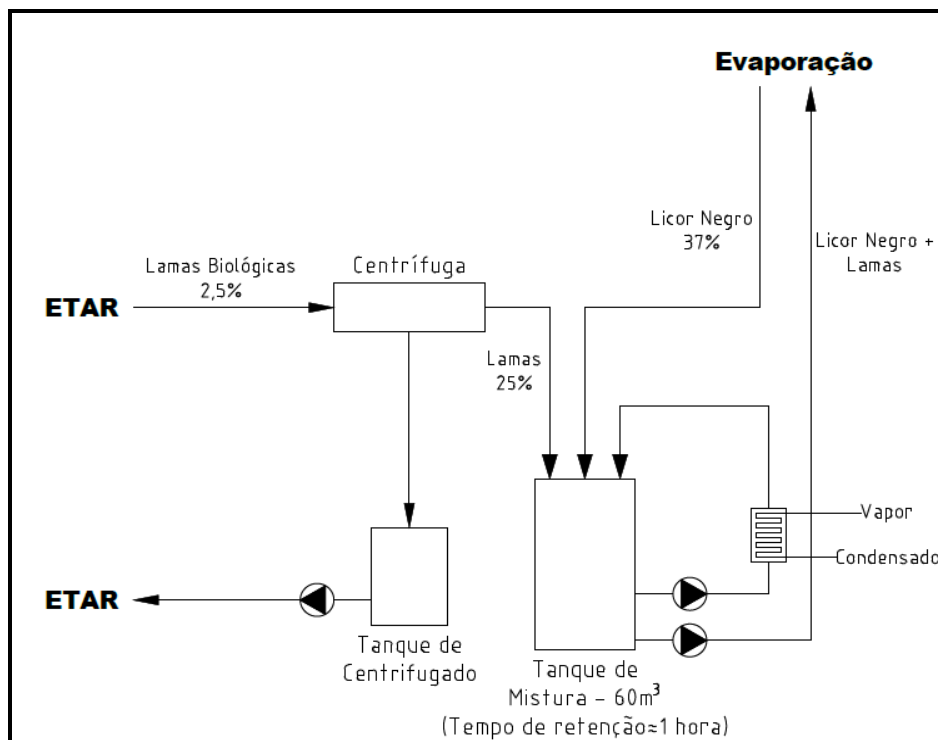


Figura 8 – Esquema da solução para valorização de lamas biológicas a implementar na Celbi (Celbi, 2018)

O excesso de lamas biológicas à saída do clarificador secundário da ETAR, em vez de ser encaminhado para a desidratação de lamas existente, será enviado por tubagem para a área de evaporação do licor negro onde é alimentado a uma centrífuga, conseguindo-se assim a sua desidratação. O objetivo da desidratação é de passar de um teor de sólidos secos nas lamas de 2,5% para 25%.

As águas residuais, separadas das lamas na centrífuga, são alimentadas a um tanque e transferidas por bombagem de novo para a ETAR.

As lamas biológicas desidratadas serão enviadas para um tanque de mistura, cujo fluido de mistura é constituído por licor negro proveniente da linha de evaporação.

Do tanque de mistura, o licor negro já misturado com as lamas biológicas é introduzido na linha de evaporação, a qual concentra o licor negro até cerca de 70% de sólidos secos, antes da sua alimentação à caldeira de recuperação.

Para avaliar a viabilidade económica do investimento foi feito o apuramento de custos com a compostagem nos últimos 3 anos (2015 a 2017) e analisadas propostas de empresas de gestão de resíduos para o tratamento das lamas biológicas.

Os custos totais com a compostagem nos anos em análise excederam os 500 000 €, incluindo, custos de gestão interna da compostagem (mão de obra e máquinas de movimentação do composto), transporte do composto para as propriedades florestais, espalhamento do composto nas propriedades florestais, análises do composto e manutenção da estação de compostagem. Caso se optasse por enviar as lamas para uma empresa de gestão de resíduos, o custo médio previsto por tonelada de lamas seria de 20 €. Considerando que nos anos em análise a estação de compostagem processou cerca de 28 000 t de lamas, os custos, caso tivessem sido enviadas para o exterior, ascenderiam a 560 000 €.

Caso a Celbi pretenda uma recuperação do investimento em menos de 10 anos, poderá disponibilizar para este projeto cerca de 1 500 000 €.

Há, no entanto, a considerar que, de acordo com o n.º 3 do artigo 58º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro na redação dada pela Lei n.º 82-D/2014, de 31 de dezembro, a operação de valorização energética (operação de valorização R1) está sujeita ao pagamento de uma taxa de gestão de resíduos (TGR) anual, no valor de 25 % da TGR definida no n.º 2 do mesmo diploma. Essa taxa está definida para os anos 2015 a 2020 e é a seguinte:

Tabela 7 – Taxa de gestão de resíduos a aplicar entre os anos 2015 a 2020, definida no n.º 2 do artigo 58º do Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de setembro na redação dada pela Lei n.º 82-D/2014, de 31 de dezembro

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Valor da TGR (€/t resíduos)	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9	11,0

Assim sendo, este custo deve ser tido em consideração na análise de viabilidade económica do projeto. No entanto, caso as lamas deixem de ser enviadas para a compostagem interna, deixa de haver necessidade do envio de resíduos do parque de madeiras para a mesma, que poderão ser valorizados na Central a Biomassa existente nas instalações da Celbi. O benefício gerado pelo aproveitamento destes resíduos para valorização energética compensa o pagamento da taxa de gestão de resíduos, logo, podemos desprezar este custo.

5.3.2. Peletização de resíduos para valorização energética

Na pesquisa bibliográfica efetuada foi identificado que um dos possíveis métodos para valorização dos resíduos do tratamento de efluentes de fábricas de pasta de papel é a sua combustão na forma de peletes contendo diferentes quantidades de lamas.

No estudo de Nosek *et al.* (2017) foram produzidas amostras de peletes num equipamento laboratorial, a partir de resíduos de madeira (serradura) e resíduos do tratamento de efluentes

(mistura de lamas primárias e secundárias) de uma fábrica de produção de pasta de papel. Os resíduos do tratamento de efluentes utilizados consistiam de uma mistura de cerca de 70% de lamas primárias e 30% de lamas secundárias.

Foram produzidos 5 tipos de peletes:

- Apenas madeira – 100% de serradura
- 50:50 – 50% mistura de lamas + 50% de serradura
- 60:40 – 60% mistura de lamas + 40% de serradura
- 70:30 – 70% mistura de lamas + 30% de serradura
- Apenas lamas – 100% de mistura de lamas

Dos resultados obtidos após caracterização das peletes produzidas durante o estudo de Nosek *et al.* (2017), concluiu-se que é possível produzir peletes a partir de resíduos do tratamento de efluentes da indústria de pasta e papel, no entanto, os peletes produzidos apenas de resíduos apresentam algumas características menos benéficas para a sua valorização energética, como por exemplo, um baixo poder calorífico inferior e um elevado teor de cinzas do que os peletes produzidos apenas com madeira. Quando misturados com madeira, as peletes resultantes dessa mistura, melhoram as suas características à medida que a percentagem de madeira nas peletes aumenta. Assim sendo, para percentagens de resíduos mais baixas, tais como 10% espera-se conseguir peletes com características idênticas aos produzidos com 100% de madeira.

Do artigo de Nosek *et al.* (2017), surgiu a ideia de avaliar o potencial de produção de peletes a partir de resíduos da Celbi. Para esta avaliação, foi solicitado a uma entidade externa o serviço de produção de peletes e análise das suas características físicas e químicas.

Os resíduos escolhidos para a realização do estudo foram todos os resíduos orgânicos originados no processo, ou seja, os resíduos do parque de madeiras, resíduos da crivagem de pasta e resíduos do tratamento de efluentes (fibras do tratamento primário e lamas biológicas). A partir destas amostras foram produzidos peletes de cada um dos resíduos isoladamente, bem como peletes com mistura destes resíduos.

Foram produzidos 10 tipos de peletes de acordo com a tabela 8:

Tabela 8 - Composição das amostras de peletes produzidas

Designação	Composição
A	100% resíduos do parque de madeiras (Biomassa florestal)
B	100% de resíduos da crivagem
C	100% de resíduos do tratamento primário
D	100% de lamas biológicas
A+B	50% resíduos do parque de madeiras (Biomassa florestal) + 50% de resíduos da crivagem
A+C	50% resíduos do parque de madeiras (Biomassa florestal) + 50% de resíduos do tratamento primário
A+D	50% resíduos do parque de madeiras (Biomassa florestal) + 50% de lamas biológicas
B+C	50% resíduos da crivagem + 50% de resíduos do tratamento primário
B+D	50% resíduos da crivagem + 50% de lamas biológicas
C+D	50% de resíduos do tratamento primário + 50% de lamas biológicas

Para a realização do estudo, a entidade externa solicitou uma amostra de cerca de 20 kg de cada um dos resíduos.

Para preparação das peletes foi necessário preparar as amostras de resíduos para lhes diminuir a humidade e reduzir a granulometria. Neste sentido, as amostras foram estendidas ao ar e sujeitas a operações de destroçamento e moagem. As peletes foram produzidas numa peletizadora laboratorial.

As peletes produzidas foram posteriormente caracterizadas quanto ao seu teor de humidade, teor de cinzas, densidade aparente, durabilidade mecânica e teor de finos, comprimento e diâmetro, poder calorífico, análise elementar (C, H e N) e cromatografia iónica (Cl e S).

Os resultados obtidos encontram-se na tabela 9:

Tabela 9 - Resultados da caracterização das amostras de peletes

Amostra	HT (%)	Cin (%)	Fin (%)	Dur (%)	DA (kg/m ³)	Comp (mm)	Dia (mm)	C (%)	H (%)	N (%)	Cl (%)	S (%)	PCS _{bs} (MJ/kg)	PCI _{bs} (MJ/kg)	PCI _{tq} (MJ/kg)	O (%)
A	23,4	11,3	3,8	87,7	490	11,5	8,0	44,1	5,3	0,4	0,23	0,05	16,94	15,78	11,52	38,6
B	18,8	12,5	0,5	97,9	670	14,5	7,9	43,5	5,5	0,1	0,05	0,57	17,32	16,12	12,63	37,8
C	10,7	20,7	23,3	67,6	630	11,0	8,0	38,4	5,2	<0,2 (LQ)	0,07	0,14	13,93	12,80	11,17	35,5
D	15,8	27,0	2,3	85,4	700	15,3	7,9	42,2	5,7	5,1	0,31	1,60	18,04	16,81	13,77	18,1
A+B	26,7	9,3	0,9	96,6	570	11,6	8,0	43,7	5,4	0,2	0,16	0,36	17,36	16,18	11,21	40,9
A+C	12,2	16,3	9,9	80,9	710	12,1	7,9	39,5	5,2	0,2	0,15	0,09	13,92	12,79	10,93	38,6
A+D	17,1	19,5	1,9	94,8	710	16,0	8,0	42,0	5,4	2,7	0,29	0,90	17,48	16,31	13,10	29,2
B+C	6,9	15,5	7,0	75,0	650	12,1	7,9	39,9	5,3	0,1	0,07	0,29	15,44	14,29	13,13	38,8
B+D	16,8	17,1	1,3	94,9	710	13,6	7,8	43,0	5,7	2,6	0,23	1,00	17,68	16,44	13,27	30,4
C+D	12,9	23,0	2,4	88,0	740	15,5	7,8	39,0	5,5	2,4	0,19	0,70	15,72	14,53	12,34	29,2

Legenda: HT – Humidade total (%); Cin – Teor de cinzas (%); Fin – Teor de finos (%); Dur – Durabilidade mecânica (%); DA – Densidade Aparente (kg/m³); Comp – Comprimento de peletes (mm); Dia - Diâmetro de peletes (mm); C – Carbono (%); H – Hidrogénio (%); N – Azoto (%); Cl – Cloro (%); S – Enxofre (%); PCS_{bs} – Poder calorífico superior em base seca (MJ/kg); PCI_{bs} – Poder calorífico inferior em base seca (MJ/kg); PCI_{tq} – Poder calorífico inferior tal-qual (MJ/kg); O – Oxigénio total (%)

Da análise dos resultados pode-se afirmar que:

Em todas as amostras, exceto na B+C a humidade total após peletização é superior a 10%.

Todas as amostras apresentam um elevado teor de cinzas, variando entre 9,3 e 27%.

A durabilidade mecânica das amostras produzidas é elevada, tendo-se obtido valores acima de 90% para algumas das amostras. Como expectável o teor em finos é baixo, acompanhando os resultados da durabilidade.

A densidade aparente da maioria das amostras apresenta valores entre 600 kg/m³ e 750 kg/m³. Isto apenas não se verifica para as amostras A e A+B que apresentam valores de 490 kg/m³ e 570 kg/m³ respetivamente.

Todos os peletes apresentam um comprimento entre 11 e 16 cm e diâmetro de aproximadamente 8 cm.

Os valores obtidos de teor de cloro variam entre 0,05 e 0,31% e todas as amostras apresentam teor de enxofre abaixo de 1%, exceto a amostra D, com um teor de 1,6%.

Os teores de carbono são elevados para a totalidade das amostras e os valores de poder calorífico inferior (em base tal e qual) variam entre 10,93 e 13,77 MJ/kg.

Concluiu-se com este estudo ser possível produzir peletes a partir de resíduos da Celbi, com todas as misturas de resíduos consideradas.

Relativamente às características dos peletes produzidos as conclusões mais relevantes prendem-se com os elevados teores de cinza em todas as amostras analisadas, bem como baixos poderes caloríficos inferiores.

As amostras que evidenciaram um maior teor de cinzas foram as que continham lamas biológicas na sua composição, no entanto estas foram também as que apresentaram um maior poder calorífico inferior.

A existência de cloro, enxofre e azoto nas amostras também são motivo para preocupação devido à possibilidade de poderem originar problemas de corrosão em equipamentos e aumento dos poluentes atmosféricos.

No que diz respeito aos valores obtidos de poder calorífico inferior, conclui-se existir potencial para a valorização energética destes peletes, no entanto, devem ser feitos novos testes de produção de peletes com diferentes percentagens de resíduos para melhorar as características dos mesmos.

5.4. Contactos com empresas

Para identificar as empresas a contactar, foi efetuada uma pesquisa de empresas no site do Sistema de informação do Licenciamento de Operações de Gestão de Resíduos (SILOGR) da Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

A pesquisa efetuada focou-se em empresas de gestão de resíduos dos concelhos mais próximos da Figueira da Foz (Aveiro, Castelo Branco, Coimbra, Leiria, Lisboa, Santarém e Viseu) com licença para o tratamento dos resíduos em estudo (códigos LER 030310 e 030311). Foi ainda tido em consideração o tipo de tratamento dado aos resíduos, isto é, se seriam submetidos a uma operação de valorização ou eliminação.

De acordo com o referido anteriormente, a listagem retirada do SILOGR foi a seguinte:

Tabela 10 - Empresas licenciadas para a gestão dos resíduos LER 030310 e 030311

Empresa	Concelho	Distrito
Ambibelmonte - Soluções Ambientais, S. A.	Belmonte	Castelo Branco
Ambisicó, Lda	Ansião	Leiria
Lena Ambiente II	Castelo Branco	Castelo Branco
Átomos Aplicados, Lda	Pombal	Leiria
Auto Rafael Cruz, Unipessoal, Lda	Ovar	Aveiro
Ferrovial Serviços, S.A.	Chamusca	Santarém
Índice da Razão – Investimentos, LDA	Castelo Branco	Castelo Branco
SISAV- Sistema Integrado de Tratamento e Eliminação de Resíduos, SA	Chamusca	Santarém
Ambitrevo, Soluções Agrícolas e Ambientais, Lda.	Coruche	Santarém
Componatura. Ida	Torres Novas	Santarém
Correia & Correia, Lda	Loures	Lisboa
Dilumex - Gestão de Resíduos Lda	Oliveira do Bairro	Aveiro
Ecomais - Recolha e Valorização de Resíduos, S.A.	Batalha	Leiria
EGEO – Tecnologia do Ambiente, S.A.	Pombal	Leiria
Europac&Recicla Portugal, SA	Figueira da Foz	Coimbra

CMP-Cimentos Maceira e Pataias, S.A.	Leiria	Leiria
Laranjeiro e Alcaide Lda	Aveiro	Aveiro
Natural - Indústria de Papel, SA	Viseu	Viseu
Oliveira e Pires, Lda.	Leiria	Leiria
Pluriresíduos, Lda	Alcanena	Santarém
Pressão Fluída - Manutenção Industrial, Lda.	Oliveira de Frades	Viseu
Ambibelmonte- Soluções Ambientais, s.a.	Belmonte	Castelo Branco
Reciclocentro LDA	Soure	Coimbra
Renascimento - Gestão e Reciclagem de Resíduos, Lda.	Loures	Lisboa
RuiSilauto - Reparações Automóveis, Lda	Leiria	Leiria
Sustentavolume, Lda	Oliveira do Bairro	Aveiro
Terra Fértil, Gestão e Valorização de Resíduos, SA	Chamusca	Santarém
SS Bioenergias, SA	Figueira da Foz	Coimbra
Pragosa Ambiente, S.A.	Alenquer	Lisboa
Gintegral, S.A.	Castro Daire	Viseu
Leal&Soares, Lda	Mira	Coimbra

Das empresas listadas na tabela 11, no decorrer deste estágio foram contactadas onze. As empresas contactadas foram escolhidas, umas pela proximidade às instalações fabris, uma vez que esta questão minimiza os custos de transporte dos resíduos e outras por já existirem relações comerciais com a Celbi e já conhecerem o seu processo e resíduos o que facilita e acelera a resposta da empresa quanto à viabilidade de tratar o resíduo.

Das empresas contactadas três referiram imediatamente não ter solução para o resíduo apesar de terem licença para gestão do mesmo.

As restantes oito empresas demonstraram interesse em efetuar uma proposta, para a qual, cinco destas empresas afirmaram necessitar de uma amostra e análises laboratoriais dos resíduos, enquanto as outras três apenas solicitaram análises laboratoriais.

As amostras dos resíduos, bem como as análises laboratoriais de acordo com os Decretos-lei nºs 276/2009 e 183/2009 foram providenciadas.

Até ao final do estágio foram rececionadas cinco propostas para os resíduos em estudo. Todas estas propostas contemplavam como valorização para os resíduos a compostagem. Das propostas recebidas, apenas uma apresentou custos interessantes para a Celbi, mas que, no entanto, se apresentavam na ordem dos custos atuais com estes resíduos. Apenas esta proposta foi adjudicada para ambos os resíduos de código LER 030310, ou seja, para os resíduos da crivagem e fibras do tratamento primário. Os custos apresentados nas restantes propostas não foram satisfatórios relativamente aos custos das soluções atuais.

Para além dos contactos efetuados com as empresas de gestão de resíduos, foram ainda efetuados contactos com duas empresas de produção de cartão.

Ambas as empresas demonstraram interesse nos resíduos da crivagem e nas fibras do tratamento primário, sendo que apenas uma solicitou amostras para testes de cozimento nas suas instalações fabris.

A outra empresa já conhecia os resíduos da Celbi devido a ter sido anteriormente um dos destinos para os mesmos, no entanto, e após uma remodelação no seu processo, deixou de ter capacidade técnica para os receber. Atualmente encontra-se em processo de análise para a aquisição de um novo desfibrador que lhe possibilite voltar a utilizar os resíduos da Celbi no seu processo.

Até ao final do estágio não se verificaram mais desenvolvimentos com estas duas empresas.

No decorrer do estágio foi recebido um contacto de uma empresa para a apresentação de um projeto de instalação de uma unidade de produção de fertilizantes, utilizando as lamas biológicas da Celbi e que seria instalada na sua unidade fabril.

Esta unidade de produção de fertilizante seria uma instalação fabril, pequena, à escala e modular com no máximo 1000 m² de área. A instalação teria um baixo consumo, baixo custo e alta eficiência.

O produto produzido pela unidade fabril seria um fertilizante organo-mineral de elevada qualidade que seria depois encaminhado para as propriedades florestais da Altriflorestal (empresa que gere as propriedades florestais do grupo Altri).

Foram efetuados contactos com os responsáveis da Altriflorestal no sentido de averiguar o seu interesse neste projeto, tendo a resposta sido positiva. Decidiu-se solicitar mais informação à empresa, tendo esta solicitado um acordo de confidencialidade que foi aceite pela Celbi. No final do estágio esta solução continuava a ser explorada.

6. Conclusão e Propostas de trabalho futuro

Face aos objetivos propostos para este estágio profissionalizante pode-se concluir que:

Os resíduos orgânicos da Celbi são resíduos não perigosos para os quais existem várias potencialidades de valorização que ainda não foram exploradas devidamente e com elevado interesse, tanto económico, como ambiental.

Dos novos métodos estudados durante o estágio concluiu-se que a valorização de lamas biológicas na Caldeira de Recuperação tem um elevado potencial, sendo que a sua aplicação minimiza dois problemas associados a este resíduo, os custos com o seu tratamento e a redução da quantidade de resíduos enviados para a compostagem da Celbi. No que se refere a trabalho futuro, encontra-se em curso um estudo de engenharia para a realização do projeto. Após a entrada em funcionamento do mesmo a Celbi deverá acompanhar o processo no que diz respeito ao impacto nas emissões gasosas da caldeira de recuperação, ao impacto nos equipamentos (corrosão, eficiência de queima, etc.) e também ao impacto no processo relacionado com a possível acumulação de elementos não-processuais. Apesar de nenhum destes impactos serem expectáveis, isto só poderá ser verdadeiramente verificado quando o método for aplicado.

Relativamente ao estudo efetuado à produção de peletes com resíduos orgânicos da Celbi, conclui-se que os resultados obtidos são promissores, devendo ser melhoradas as características dos peletes. Estas melhorias poderão ser conseguidas através da produção de peletes com diferentes misturas e percentagens de resíduos. A Celbi pretende continuar este estudo, estando inclusive a considerar a aquisição de uma peletizadora laboratorial para poder testar internamente este método e otimizar as peletes. No que diz respeito a trabalho futuro a Celbi deverá contactar com empresas de produção de peletes para possíveis parcerias e testes à escala industrial.

Do contacto com as empresas conclui-se que atualmente a maioria das empresas de gestão de resíduos apenas têm como solução de tratamento para estes resíduos a compostagem. Os custos apresentados pela maioria das empresas são muito elevados, principalmente para o tratamento de lamas biológicas. A explicação dada pelas empresas contactadas relativamente a estes custos refere-se ao facto de estes apresentarem um elevado teor de humidade, o que aumenta consideravelmente os custos de transporte do resíduo. Isto porque a percentagem de material seco por carga é muito reduzida.

Os contactos com as empresas de produção de cartão, apesar de não terem evoluído muito durante o tempo que decorreu o estágio, devem ser mantidos num futuro próximo. Isto porque, o reaproveitamento dos resíduos da crivagem e das fibras do tratamento primário para a produção de cartão tem um elevado potencial de aplicabilidade e de benefícios para a Celbi e para a empresa que os receber.

O contacto com a empresa de fertilizantes foi positivo, no entanto, uma vez que a Celbi optou por avançar com a valorização das lamas biológicas na Caldeira de recuperação, não vai ser possível dar continuidade a esta solução, podendo, entretanto, esta vir a ser uma opção para as outras fábricas do grupo.

Futuramente, a Celbi deve considerar explorar outros métodos dos apresentados no capítulo 5.2 deste relatório para valorização dos seus resíduos de crivagem e fibras do tratamento primário, visto existirem ainda outros métodos com um bom potencial de aplicação que poderão ser desenvolvidos.

7. Referências Bibliográficas

- Azevedo A. R. G., Alexandre J., Xavier G. C. e Pedroti L.G., Recycling paper industry effluent sludge for use in mortars: A sustainability perspective, *Journal of Cleaner Production* 192 (2018) 335e346
- Buelle R., Lüder K., Lindholm K., Nordgren M., Wernqvist A. e Valmet (2016), Disposing of secondary sludge (biosludge) in the recovery boiler, *Tapi Peers 2016 Conference*
- Celbi, Sistemas de gestão e certificações, consultado em 05 de Setembro de 2018 em <http://www.celbi.pt/pt/sistemasdegestaoecertificacoes/30/>
- Comissão Europeia, Compreender as políticas da União Europeia: Ambiente; *Direção-Geral da Comunicação Informação dos cidadãos 1049 Bruxelas BÉLGICA; Manuscrito atualizado em novembro de 2014*
- Geng X., Zhang S.Y. e Deng J., (2005), Characteristics of paper mill sludge and its utilization for the manufacture of medium density fiberboard, *Wood and fiber Science*, 39(2), pp. 345-351 by the society of wood science and technology
- Hagelqvist A., (2013), Sludge from pulp and paper mills for biogas production - Strategies to improve energy performance in wastewater treatment and sludge management, *Dissertation -Karlstad University Studies, Faculty of Health, Science and Technology*
- Harila P. e Kivilinna V.-A. (1999), Biosludge incineration in a recovery boiler, *Published by Elsevier Science,Lda., Water and science Tech. vol. 40, nº11-12*
- Karlsson A., Truong X., Gustavsson J., Svensson B., Nilsson F. e Ejlertsson J., (2011), Anaerobic treatment of activated sludge from Swedish pulp and paper mills - biogas production potential and limitations, *Environmental technology*, (32), 14, 1559-1571.
- Leão A. L., Cherian B. M., Souza S.F., Sain M., Narine S., Cadeira M. e Toledo M.A., (2012), Use of Primary Sludge from Pulp and Paper Mills for Nanocomposites, *Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 556: pp. 254–263, 2012, Taylor & Francis Group, LLC*
- Melo M. e Gouveia M., (2001), Pasta e Papel em Portugal - Perspectivas para o Sector, *GEPE - Gabinete de Estudos e Prospectiva Económica do Ministério da Economia*

- Nosek R., Holubcik M., Jandacka J. e Radacovska L., (2017), Analysis of paper sludge pellets for energy utilization, “*Energy for sludge*”, *BioResources* 12 (4), 7032-7040
- Öberg C., (2016), Co-combustion of Industrial Biosludge and other Residual Streams in a Bubbling Fluidized Bed - Focusing on reduction of operating and technical problems by analyzing the ash transformation chemistry, *Master thesis, 30 ECTS, for a degree in Master of Science in Energy Engineering Department of Applied Physics and Electronics Umeå University*
- Paul S. Wiegand P. S., e Unwin J. P., Alternative management of pulp and paper industry solid wastes, Vol. 77, No. 4 Tappi Journal
- Romaní A., Remedios Y., Garrote G., Alonso J. L. e Parajó J. C., (2007), Sugar production from cellulosic biosludges generated in a water treatment plant of a Kraft pulp mill, *Biochemical Engineering Journal* 37 (2007) 319–327
- Scott M. e Smith A., (1995), Sludge characteristics and disposal alternatives for the pulp and paper industry, *Proceedings of the 1995 International environmental conference; Proceedings of the 1995 International environmental conference;*
- União Europeia, A EU por temas, Ambiente, consultado em 05 de Setembro de 2018 em - https://europa.eu/european-union/topics/environment_pt