



UNIVERSIDADE D
COIMBRA



Paulo Jorge Tavares Ferreira

CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PAPEL

Relatório da unidade curricular apresentado para provas de agregação em Engenharia Química,
conforme a alínea b) do artº 5º e a alínea c) do artº 8º do DL 239/2007

Janeiro de 2019

CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PAPEL
PAPER SCIENCE AND TECHNOLOGY

Paulo Jorge Tavares Ferreira

Coimbra, 2019

CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PAPEL
PAPER SCIENCE AND TECHNOLOGY

Paulo Jorge Tavares Ferreira

*Relatório da unidade curricular apresentado para provas de agregação em
Engenharia Química, conforme a alínea b) do artº 5º e a alínea b) do artº 8º do
DL 239/2007*

Coimbra, 2019

Palavrador

*O papel,
antes do poema
é um chão depois da chuva.
O idioma do grão
lavra a caligrafia do pão*

Mia Couto, *in* "Tradutor de Chuvas"

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações preliminares	1
1.2. A relevância da unidade curricular na formação em Portugal	3
1.3. O ensino de Ciência e Tecnologia do Papel em outras escolas	6
2. ENQUADRAMENTO	15
2.1. Enquadramento da unidade curricular no plano de estudos do MIEQ	15
2.2. Oferta da unidade curricular a outros cursos	18
3. OBJETIVOS E COMPETÊNCIAS A DESENVOLVER	19
4. PROGRAMA	21
4.1. Resumo do programa	21
4.2. Programa detalhado	25
4.3. Programa de aulas de laboratório	49
4.4. Programa de visitas	51
4.5. Notas finais	52
5. METODOLOGIA DE ENSINO	54
6. AVALIAÇÃO	59
6.1. Processos de avaliação	59
6.2. Avaliação da unidade curricular	61
7. BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE CURRICULAR	64
7.1. Bibliografia recomendada	65
7.2. Bibliografia complementar	65
7.3. Netgrafia	66
8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	66
9. NOMENCLATURA	68

ANEXOS

A. Programa da unidade curricular de <i>Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel</i>	I
B. Informação relativa ao ensino de Ciência e Tecnologia do Papel em outras Escolas	III
C. Protocolos de trabalhos de laboratório e Procedimentos de ensaio em laboratório	XIII
D. Folhas de questões teórico-práticas	XLI

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações preliminares

A ligação da Universidade de Coimbra à fileira dos materiais lignocelulósicos, em particular da celulose e do papel, tem um forte historial, envolvendo alguns Departamentos da sua Faculdade de Ciências e Tecnologia, nomeadamente o Departamento de Botânica (entretanto integrado no Departamento de Ciências da Vida), os Departamentos de Engenharia Civil e de Engenharia Eletrotécnica e, sobretudo, o Departamento de Engenharia Química (DEQ). De salientar que a Universidade de Coimbra é sócia fundadora do RAIZ – Instituto de Investigação da Floresta e do Papel, o que dá bem conta da importância que a instituição atribui desde há longo tempo à atividade de investigação que as suas unidades orgânicas desenvolvem no domínio da celulose e do papel e às parcerias com os diferentes *players* nacionais do sector. Particularmente relevante e intensa tem sido a atuação do DEQ e do seu Centro de Investigação em Engenharia dos Processos Químicos e dos Produtos da Floresta (CIEPQPF), tanto na vertente de ensino quanto na de investigação, desenvolvimento e inovação tecnológica, o que é natural atendendo à afinidade temática da formação que ministra, e da investigação de base e aplicada que prossegue, com as necessidades da indústria da celulose e do papel.

Na vertente de ensino, foi ainda no final dos anos 80 que o DEQ incluiu no seu portfólio de disciplinas, ao nível da licenciatura em Engenharia Química, uma disciplina opcional e semestral para os alunos dos 4º e 5º anos, a de “*Tecnologia da Celulose*”, em parceria com a então Soporcel, no sentido de completar a formação de banda larga de um(a) Engenheiro(a) Químico(a), caso o desejasse, com os conhecimentos complementares que lhe permitissem mais facilmente desenvolver a sua atividade profissional na indústria de produção de pasta. A escolha por este modelo, no qual, além dos docentes de carreira, os técnicos da indústria vêm transmitir aos estudantes conhecimentos detalhados da sua especialidade, de forma condensada, numa disciplina com a duração de um semestre, foi deliberadamente tomada como alternativa à formação, mais alargada no tempo e mais aprofundada, então ministrada no curso de 5 anos de Engenharia do Papel da Universidade da Beira Interior (UBI). O objetivo foi o de por esta forma fornecer ao mercado técnicos com uma sólida e abrangente formação de Engenharia Química mas capazes de se integrarem facilmente numa indústria tão particular quanto a da produção de celulose.

Entretanto, na sequência da instalação na Figueira da Foz da primeira Máquina de Papel da Soporcel, o DEQ passou a completar a sua oferta formativa, no ano letivo 2000/2001, com

outra disciplina opcional, a de “*Tecnologia do Papel*”, visando satisfazer a procura expectável de técnicos com conhecimentos mais específicos sobre o processo de produção de papel. Tal facto coincidiu com a conclusão das provas de doutoramento do autor, que colaborou na definição do programa, no arranque e, desde então, na docência desta disciplina.

Com a passagem, em 2007, da Licenciatura em Engenharia Química para Mestrado Integrado em Engenharia Química (MIEQ), no âmbito da reforma de Bolonha, as disciplinas de *Tecnologia da Celulose* e de *Tecnologia do Papel* deram origem a uma única, a de *Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel*, que manteve o modelo de funcionamento semestral com envolvimento de técnicos da indústria na docência de tópicos de algumas das disciplinas. No entanto, conforme se pode avaliar pela abrangência do programa da disciplina apresentado no anexo A, o funcionamento da mesma veio a revelar-se inadequado para o cumprimento dos objetivos propostos, na medida em que se pretendia em apenas seis meses abarcar os conteúdos anteriormente cobertos por duas disciplinas. Por esta razão, na reforma do MIEQ em 2011, adotou-se uma estrutura curricular semelhante à do modelo pré-Bolonha, com a existência de duas unidades curriculares distintas mas complementares, a de *Ciência e Tecnologia da Pasta* e a de *Ciência e Tecnologia do Papel*. É um programa reformulado desta última, bem como a metodologia de ensino associada, que o autor apresenta para avaliação nestas provas de agregação.

O nome da unidade curricular testemunha o carácter misto da formação transmitida aos estudantes. Se por um lado se abordam questões mais fundamentais como as da estrutura da matéria-prima, da química da parte húmida do processo de *papermaking*, da física do papel e das suas propriedades mais relevantes, i.e., se centra o conhecimento no domínio da “Ciência” e se recorre a conceitos das ciências básicas de Biologia, Química e Física (fundamentalmente), por outro procura-se que os estudantes conheçam as principais etapas do processo, como é o caso da refinação, da formação, da secagem ou do acabamento, bem como os equipamentos a estas associados, a sua importância no processo e as variáveis operatórias mais relevantes, assentando a formação numa vertente mais “tecnológica”.

O programa agora proposto tem por base o da última edição da unidade curricular, e é também diferente do definido nas reformas de 2000, 2007 e 2011. Na verdade, tem havido a preocupação de adaptar os conteúdos por um lado às novas necessidades da indústria nacional do sector e, por outro, às evoluções mais recentes no domínio dos chamados “*celulose-based materials*” e na emergência de novos produtos intrinsecamente associados ao produto “papel”. Assim, mantendo o enfoque nos chamados papéis finos de impressão e escrita não revestidos, a que corresponde a grande maioria da produção nacional de papel, são agora também abordadas as especificidades de outros tipos de papel, como os “*Tissue*” (sanitários e de uso doméstico) e os reciclados. Iguamente se dedica uma aula ao tema

“Nanoceluloses na indústria papelreira – produção, propriedades, caracterização e aplicações” (objeto da lição apresentada no âmbito destas provas de agregação).

A unidade curricular preserva uma importante característica identitária, quer no contexto do plano de estudos do MIEQ, quer no de outros cursos tanto na Universidade de Coimbra quanto em outras Escolas nacionais e de outros países: muitos dos tópicos continuam a ser ministrados por técnicos da indústria, com larga experiência e conhecimento, o que é muito valorizado pelos estudantes e contribui para uma efetiva e eficaz ligação ao mundo real. Ainda assim, o autor tem sido o responsável pela coordenação da unidade curricular, incluindo os ajustes ao seu conteúdo programático, e pela lecionação de pelo menos 50% das aulas, fundamentalmente associadas às componentes mais “científicas” do programa.

O documento apresentado pretende dar conta da importância desta unidade curricular na formação de um Engenheiro Químico, quer em sentido lato quer considerando a especificidade da indústria Portuguesa, onde a indústria papelreira responde por 4,4% do PIB. É estabelecida uma comparação com o ensino da Ciência e Tecnologia do Papel ministrado em outras Escolas e enquadrada a unidade curricular no plano de estudos do MIEQ e de outros cursos da Universidade de Coimbra que a integram também na sua oferta formativa. Os objetivos, as competências a adquirir, o programa detalhado e as metodologias de ensino e de avaliação são apresentados e discutidos de seguida.

1.2 A relevância da unidade curricular na formação em Portugal

Em Portugal as indústrias florestais (da pasta e do papel, da cortiça, da madeira, do mobiliário e da resina), suportadas numa área florestal correspondente a cerca de 35% do território nacional, são de há longa data um dos alicerces da economia nacional, responsáveis por 9,3% das exportações [1]. Nestas, a indústria papelreira, que inclui a produção florestal, de pastas para papel, de diferentes tipos de papel e do tratamento de produtos papelreiros em fim de vida, assume a liderança destacada e, segundo dados económicos de 2015, apresenta um desempenho francamente positivo e forte resiliência, apesar do período de crise económica e de abrandamento do comércio internacional que se arrastou durante cerca de nove anos.

Os dados da Tabela 1 confirmam a relevância, no panorama industrial português, da atividade de fabricação de pasta, de papel, de cartão e seus derivados. Só a produção das empresas dos grupos *The Navigator Company* e *Altri*, juntamente com a das empresas *Renova* e *Europac*, corresponde a 1,5% do PIB nacional.

Tabela 1 – Resultados da atividade de fabricação do setor de madeira, pasta, papel, cartão e seus derivados e impressão (dados de 2013 [1]).

Valor Acrescentado Bruto (VAB)	1,4% do VAB nacional
Produção do setor	2,4% da produção nacional
	8,5% da produção industrial nacional
	4,4% do PIB nacional
Emprego no setor	1,2% do emprego total

A indústria de pasta e papel tem, em Portugal, um pendor fortemente exportador (5% das exportações e 2,0% das importações do país em 2015), sendo que aproximadamente 60% da pasta e 65% do papel produzidos são exportados. Em 2015 houve um aumento de 6,3% nas exportações de pasta e de 1% nas de papel e cartão, sendo os principais destinos a Europa, com 66% das exportações nacionais maioritariamente para Espanha, Alemanha e França, e os Estados Unidos. Em termos exclusivamente europeus, Portugal é o 3º maior produtor de pasta (7,2% do total) e o 11º produtor de papel (2,4% do total), ocupando porém o 2º lugar no que respeita a produção de papéis finos não revestidos com base em pasta química (UWF, *uncoated wood-free*), com perto de 1/5 da produção europeia (17,9%). Já a nível mundial, Portugal é o 17º e o 29º produtor de pasta e de papel, respetivamente, sendo o 2º produtor de pastas químicas de eucalipto, atrás do Brasil. Para assegurar estas posições, que colocam o país na vanguarda da produção de pasta e de papel, existem em território nacional seis fábricas de pasta e cerca de 45 fábricas de papel, para além de mais de 100 unidades de reciclagem de papel e cartão usado e de cerca de 60 empresas transformadoras de papel e cartão (cartonagens e gráficas) [1, 2].

Considerando apenas a produção de papel, é portuguesa a maior empresa europeia de produção de papéis UWF (e a 6ª a nível mundial), com dois grandes *sites* industriais, em Setúbal e na Figueira da Foz. A produção deste tipo de papéis tem portanto um peso significativo na produção nacional de papel (72% do total). Neste segmento, o país tem revelado também um dinamismo assinalável: a produção de papel na Europa tem diminuído desde 2009, e no caso dos papéis gráficos, que representam somente 4% do consumo total, também o consumo tem registado quebras, o mesmo se passando a nível mundial, com especial ênfase nos Estados Unidos. Porém, ainda assim, entre 2014 e 2015 o país aumentou em 1% a produção de papéis gráficos e em 9,3% a de papéis para uso doméstico e sanitário, traduzidos no já referido aumento de 1% das exportações [1].

Face a todos os indicadores apresentados mais do que se justifica a necessidade de existir em Portugal oferta formativa quer na área da produção de pasta quer na de papel, a qual forneça sólidas bases técnicas e científicas para trabalhar nas empresas nacionais, assegurando elevados níveis de eficiência, de produtividade, de rentabilidade e de qualidade dos produtos

colocados no mercado. Durante décadas, as fábricas portuguesas recorriam a técnicos com formação principalmente em Engenharia Química ou Mecânica, em Química e em Química Industrial. Estes completavam depois os seus conhecimentos, associados às inúmeras especificidades da indústria papelreira, ou internamente, com o saber e a experiência acumulados no exercício da atividade, ou externamente, obtendo formação complementar em escolas estrangeiras ou em associações técnicas do setor que ministram cursos técnicos de curta duração. Embora o Instituto Superior de Agronomia tenha assegurado de há longa data alguma formação no domínio da produção de pastas para papel, foi só na década de 80 que surgiu em Portugal, mais concretamente na Universidade da Beira Interior, um curso de licenciatura, de 5 anos, exclusivamente destinado à formação na área da Engenharia do Papel, contemplando portanto não só a produção de pastas mas também a de papel, com disciplinas mais específicas como *Tecnologia do Papel*, *Física do Papel* ou *Manipulação do Papel*. Porém, devido a constrangimentos diversos – localização da escola, diminuição do número de estudantes no ensino superior e ainda uma formação considerada de “banda estreita” – o interesse por este curso foi diminuindo, até à sua extinção no ano 2000. Ao mesmo tempo, as fábricas continuavam a privilegiar técnicos com formação mais polivalente, como nas já indicadas Engenharia Química ou Mecânica, e preferencialmente com conhecimentos complementares de tecnologia papelreira. É neste contexto que se enquadra o surgimento, na licenciatura de Engenharia Química do DEQ, da já referida disciplina de *Tecnologia da Celulose*, no final dos anos 80, e que existem atualmente, no curriculum do MIEQ, as disciplinas de *Ciência e Tecnologia da Pasta* e a de *Ciência e Tecnologia do Papel*. Não obstante o carácter opcional, estas unidades curriculares têm funcionado em todas as edições com um número de estudantes superior ao mínimo exigido para contabilização do serviço docente e, nos últimos anos, sempre superior a 15.

No que diz respeito à unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel*, esta está especialmente direcionada para o caso dos papéis de impressão e escrita não revestidos, tendo precisamente em conta o peso deste tipo de produto na indústria nacional e as fortes ligações do DEQ ao grupo *The Navigator Company*, que até muito recentemente apenas produzia papéis UWF e que participa na lecionação de alguns tópicos do programa. Todavia, a recente aposta da indústria portuguesa na diversificação para a produção de papéis de uso doméstico e sanitário, bem como a crescente utilização de papéis reciclados, faz com que as especificidades destes sejam também analisadas ao longo da unidade curricular. No panorama nacional, esta é atualmente a única unidade curricular a funcionar, sem interrupção, a nível universitário e exclusivamente dedicada ao processo de produção e às propriedades do papel, o que dá conta da sua importância para a formação de técnicos que possam contribuir para a indústria papelreira (e afins), não só com os conhecimentos adquiridos mas também com as

bases sólidas que permitem uma mais fácil integração na atividade e compreensão do processo de *papermaking*.

Testemunho da relevância da unidade curricular é o número de Engenheiros(as) Químicos(as) que a frequentaram e que trabalham atualmente no sector, no país e no estrangeiro, em fábricas de pasta e/ou de papel mas também em empresas fornecedoras de produtos e de equipamentos para o sector. Nas fábricas nacionais estes mestres (e licenciados) exercem a sua atividade nas mais diversas áreas, desde a gestão de topo à engenharia de processo e do produto, à manutenção, ao *procurement* e à assistência ao mercado.

Julga-se assim justificada, no contexto apresentado da realidade nacional da indústria da pasta e do papel, a importância da oferta da unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* no plano de estudos do MIEQ.

1.3 O ensino de Ciência e Tecnologia do Papel em outras escolas

A invenção do fabrico do papel remonta ao ano de 105 d.C, na China, e é atribuída a Ts'ai Lun, da corte imperial da dinastia Han, que pela primeira vez produziu um entrançado de fibras para suporte de escrita obtidas a partir de desperdícios têxteis, cascas de árvore e resíduos de cânhamo moídos e cozidos em meio alcalino. No século V o uso do papel estava generalizado no oriente, no século VI começa também a ser utilizado como produto de higiene, mas só no século VIII o conhecimento do processo de fabrico e a utilização do papel se difundem pelo mundo islâmico, chegando à Europa apenas no século XII. É na Europa, na sequência da Reforma e da invenção da tipografia, que ocorre a mecanização do processo de *papermaking*, com o aparecimento da máquina de papel *Fourdrinier* no final do século XVIII, a qual permitiu passar do fabrico de papel em folhas individuais para a produção em contínuo, na forma de rolos. O século XIX foi marcado pela emergência dos processos de produção baseados em pastas químicas e mecânicas, utilizando a madeira como matéria-prima, e pelo uso crescente do papel como *commodity* [3, 4].

Apesar deste desenvolvimento, até ao início do século XX a indústria de produção de papel, necessitada de técnicos especialistas, recorria principalmente a engenheiros químicos dada a inexistência de escolas que facultassem a formação específica necessária. Estes engenheiros tinham um conhecimento associado fundamentalmente à indústria petroquímica e só com a prática adquirida se familiarizavam com a ciência, a terminologia e os princípios de engenharia relacionados com a produção de papel. Por esta razão, a indústria começa então, nos Estados Unidos, a estabelecer programas de formação em tecnologia de pasta e de papel, suportados em associações técnicas do setor. Só em 1920 é criado um curso de nível universitário, com curriculum especialmente definido para produção de pasta e de papel, no Departamento de

Química da Floresta do *College of Forestry* do Estado de Nova York, na Universidade de Siracusa, mais tarde convertido em Departamento de Química da Pasta e do Papel [5]. Na década de 50 são já várias as Universidades (e Institutos Superiores / Escolas Politécnicas), na América do Norte e na Europa, a facultarem estudos nesta área do conhecimento, sendo mesmo criados em muitas delas Departamentos da Pasta e do Papel ou Departamentos do Papel.

Se numa fase inicial predominavam cursos totalmente vocacionados para o ensino da ciência e tecnologia da pasta e/ou do papel, progressivamente foi-se assistindo ao surgimento de programas universitários onde esta área passou a ser ministrada ou em ramos de outras licenciaturas de âmbito mais alargado (Engenharias Química, Mecânica, Industrial ou de Materiais, ou afins, dependendo das escolas) ou na forma de mestrados complementares de estudos prévios em engenharia ou ciências. Esta tendência acentuou-se significativamente no final do século XX, com o encerramento de muitas fábricas na Europa e na América do Norte e com a focalização em áreas novas do conhecimento da chamada bioeconomia, como biorrefinaria, bioenergia, biomateriais ou bioprodutos, nas quais se podem enquadrar estudos de celulose e papel, principalmente de cariz optativo.

Na Tabela B.1 do Anexo B estão listadas algumas escolas / instituições com formação em “Papel” (*Paper Schools*) ao nível de 1º, 2º ou 3º ciclo, em todo o mundo [6-9]. Não obstante a extensa lista apresentada, e a fim de enquadrar a unidade curricular proposta no contexto da formação em Ciência e Tecnologia do Papel ministrada em outras escolas, serão referidos de seguida, de forma não exaustiva e para efeito de comparação, apenas algumas com formação de Papel (ou Pasta e Papel) ao nível de curso completo (licenciatura ou mestrado), de ramo de curso completo ou de disciplinas isoladas. Deliberadamente não serão dados exemplos de programas ao nível do 3º ciclo (única formação ministrada em algumas das instituições listadas na Tabela B.1), nem de cursos técnico-profissionais oferecidos pelas associações técnicas do setor (e.g., TECNICELPA, ABTCP, TAPPI, APPITA, IPE,....) a pessoas já no exercício da atividade que pretendem atualizar os seus conhecimentos, nem de cursos de formação à distância e *web-seminars*. Ainda assim, é complexa a tarefa de elencar e comparar os programas oferecidos pelas diferentes instituições de ensino superior, dada a grande diversidade de conteúdos e de modelo de estudos. Na verdade, na Europa nem todas as escolas adotaram a Declaração de Bolonha e a duração do 1º e 2º ciclos não é uniforme, sendo ainda maior a diferença quando se considera o ensino em outros continentes.

Considerando as instituições portuguesas, a oferta formativa na área está neste momento confinada às Universidades de Aveiro, Coimbra e Lisboa (no Instituto Superior de Agronomia). A formação em Engenharia Química da Universidade da Beira Interior (pioneira em Portugal, como já indicado, no ensino da Engenharia do Papel), que permitia após a licenciatura de 3

Programa da unidade curricular “Ciência e Tecnologia do Papel”

anos a frequência do ramo *Celulose e Papel* no 2º ciclo, foi entretanto descontinuada por falta de estudantes em número suficiente. As Tabelas 2 a 4 resumem a informação relativa à Universidade de Aveiro e ao Instituto Superior de Agronomia.

Tabela 2 – Cursos com conteúdos abordando a Ciência e Tecnologia do Papel na Universidade de Aveiro.

Escola	Universidade de Aveiro
Unidade Orgânica	Departamento de Química
Curso	Mestrado Integrado em Engenharia Química
Unidade curricular	Tecnologia de Materiais Agro-florestais, 6 ECTS http://www.ua.pt/dqua/uc/10157 (consultado em Abril 2017) 4º ano, semestre 2, obrigatória, 2h T/semana + 1h TP/semana
Conteúdos (Programa)	Introdução às indústrias transformadoras de materiais lenhocelulosicas; Indústrias transformadoras da madeira; Preparação de madeiras para a produção de pastas celulósicas e biocompósitos; Processos tecnológicos de produção de pastas celulósicas; Produção de pasta celulósica pelo método ao sulfato (<i>kraft</i>); Produção da pasta celulósica pelo método ao sulfito; Processos tecnológicos de branqueamento de pastas celulósicas; <u>Tecnologia da produção de papel</u> ; Tecnologia de produção de biocompósitos.

Tabela 3 – Cursos com conteúdos abordando a Ciência e Tecnologia do Papel no Instituto Superior de Agronomia.

Escola	Universidade de Lisboa
Unidade Orgânica	Instituto Superior de Agronomia
Curso	Licenciatura em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais
Unidade curricular	Tecnologia dos Produtos Florestais, 6 ECTS https://fenix.isa.ulisboa.pt/qubEdu/disciplinas/tpflores/2015-2016/1-semester/template-lateral/sumarios (consultado em Abril 2017) 3º ano, semestre 1, obrigatória, 2h T/semana + 3h L/semana
Conteúdos	A variabilidade da madeira: conceito de qualidade, lenho juvenil, lenho de reação; A variabilidade e qualidade da madeira: nós; Propriedades mecânicas das madeiras; Secagem da madeira; Laboração mecânica; Compósitos de madeira; Cortiça: variabilidade e qualidade industrial, fabricação de obras de cortiça natural, compósitos e derivados; Economia e Mercados dos Produtos Florestais: contexto nacional e internacional; Produção de pasta para papel: matéria-prima para a produção de pasta para papel, processos de produção (pastas mecânicas e pastas químicas), <u>manufatura do papel, tipos de papel</u> ; Biomassa e processos de transformação.

Os conteúdos apresentados na Tabela 3 correspondem aos sumários disponibilizados no ano letivo 2015/2016, sendo que o tópico *Produção de pasta para papel: matéria-prima para a produção de pasta para papel, processos de produção (pastas mecânicas, pastas químicas), manufatura do papel, tipos de papel* correspondeu a apenas uma aula teórica (2 h). Quanto ao programa da Tabela 4, do curso de mestrado, o tópico de *Produção de papel e cartão* foi dado em duas aulas teóricas (4h) e uma aula laboratorial (3h), e o de *Reciclagem de papel* em uma aula teórica (2h) e uma aula laboratorial (3h). Os assuntos abordados nestas aulas foram: produção de folhas de papel; determinação das propriedades físico-mecânicas do papel produzido pelo processo *kraft* (espessura, Índices de tração, de rebentamento e de rasgamento, duplas-dobras, brancura e determinação da cor pela escala CIE - $L^*a^*b^*$), fibras secundárias, taxas de recuperação e de utilização, recolha seletiva, ciclo de vida do papel e processos de reciclagem do papel.

Tabela 4 – Cursos com conteúdos abordando a Ciência e Tecnologia do Papel no Instituto Superior de Agronomia.

Escola	Universidade de Lisboa
Unidade Orgânica	Instituto Superior de Agronomia
Curso	Mestrado em Engenharia Florestal e dos Recursos Naturais Área de especialização: Engenharia dos Produtos Florestais
Unidade curricular	Engenharia dos Produtos Florestais II, 6 ECTS https://fenix.isa.ulisboa.pt/qubEdu/disciplinas/epf_ii/2015-2016/1-semester/template-lateral/programa (consultado em Abril 2017) 2º ano do mestrado, semestre 1, obrigatória, 2h T/semana + 3h L/semana
Programa	Produção de pasta para papel: Caracterização da matéria-prima para fins papeleiros. Preparação de matéria-prima. Tipos de processos de produção de pasta. Recuperação de licores. Aspectos ambientais. Branqueamento de pastas. Propriedades das pastas. <u>Produção de papel e cartão. Reciclagem de papel.</u> Indústria da cortiça: Preparação de pranchas de cortiça. Variabilidade e qualidade industrial da cortiça. Produção de rolhas e discos de cortiça natural. Trituração e produção de aglomerados. Rolhas técnicas. Aglomerados negros de cortiça. Compósitos de cortiça e borracha. Mercados. Indústria de resina, óleos essenciais e outros produtos químicos: Resinagem. Composição química e propriedades da resina. Indústria da resina. Métodos de extração de óleos essenciais de produtos florestais. Extração de taninos. Produção de látex e indústria da borracha

Assim, no panorama atual nacional, apenas a Universidade de Coimbra tem disponibilizado, se bem que com carácter opcional, uma disciplina totalmente dedicada à Ciência e Tecnologia do

Papel, cujo programa resumido, apresentado no Capítulo 4, é ministrado em 56 horas de aulas teóricas e teórico-práticas / laboratoriais. Esta carga horária permite assim, naturalmente, a abordagem de um mais vasto conjunto de tópicos do que os indicados nas Tabelas 2 a 4.

Em Espanha, é no Departamento de Engenharia Têxtil e Papeleira, da Escola Superior de Engenharias Industrial, Aeroespacial e Audiovisual de Terrassa, integrante da Universidade Politécnica da Catalunha, que foi disponibilizada a formação mais completa em Engenharia do Papel, sob duas formas: *i)* numa disciplina isolada, como opção das licenciaturas em Engenharia Química (tal como acontece no MIEQ), Mecânica, ou de Tecnologia e Desenho Têxtil, entre outras; ou *ii)* através de um curso específico de mestrado de dois anos, complementar de uma formação prévia ao nível de licenciatura. No primeiro caso trata-se da disciplina de *Iniciación às tecnologias industriais papeleira e gráfica*, oferecida no 4º ano, equivalente a 6 ECTS e com 60 horas de contacto [10]. No segundo caso trata-se do mestrado em *Engenharia Têxtil e Papeleira* [11]. O plano de estudos completo deste mestrado encontra-se na Tabela B.2 do anexo B, estando na Tabela 5 elencadas as unidades curriculares com maior afinidade com a área da Ciência e Tecnologia do Papel. Os programas de algumas destas estão detalhados na Tabela B.3.

Tabela 5 – Mestrado universitário em “*Ingeniería Textil, y Papelera*” da Universidade Politécnica da Catalunha (3 trimestres): unidades curriculares com maior afinidade com a Ciência e Tecnologia do Papel

Unidade Curricular	Tipo	ECTS
Materiales fibrosos para la fabricación de productos papeleros	OB	5
Tecnología de la fabricación de productos papeleros	OB	10
Tecnología de la impresión	OB	5
Tecnología de los procesos de obtención de fibras celulósicas	OB	5
Caracterización experimental del refinado de fibras celulósicas	OB	5
Detergencia y productos auxiliares	OP	5
Biotecnología aplicada a los procesos papeleros	OP	5
Física del papel y evaluación de las propiedades de productos papeleros	OP	5
Conversión y transformación de productos papeleros	OP	5
Simulación y fisicoquímica en la fabricación de productos papeleros	OP	5
Trabajo de fin de máster	PR	15

* - OB – Obrigatória; OP – Opcional; PR – Projeto.

Em Espanha, outras escolas assinaladas na Tabela B.1 ministram disciplinas isoladas relacionadas com a Pasta e/ou o Papel. É o caso, a título de exemplo, da Universidade Politécnica de Madrid (UPM), que, na sua Escola Técnica Superior de Engenharia de Montes, Florestal e do Meio Natural, disponibiliza a disciplina de *Procesos de fabricación da celulose e do papel* no 2º semestre do 3º ano (de 4) da licenciatura em Engenharia Florestal [12]. Em

todos os casos, as unidades curriculares funcionam com aulas teóricas, teórico-práticas e laboratoriais.

Tal como em Portugal e Espanha, também no resto do mundo o ensino exclusivamente dedicado à área do “Papel” tem perdido estudantes. Na verdade, na Suécia, na Finlândia e na Alemanha, países com forte tradição no ensino e investigação neste domínio e, nos dois primeiros casos, uma economia muito dependente das indústrias da fileira florestal, para além dos programas de doutoramento, a maioria da formação é assegurada através de disciplinas de mestrados de âmbito mais alargado.

No KTH (Instituto Real de Tecnologia, Suécia), o plano do mestrado em *Engenharia Química para a Energia e Ambiente* inclui, no 2º ano, como opção, a disciplina de *Processos de Pasta e Papel* (7,5 ECTS) [13]. Esta cobre as principais operações unitárias dos processos de produção de pasta e papel. Na Universidade de Karlstadt o mestrado de 1 ano em *Engenharia Química, Pasta e Papel* não é oferecido desde o ano letivo 2016-2017 [14]. Já para a formação em *Engenharia Química* e em *Engenharia Industrial e Gestão*, ao nível do 2º ciclo, são oferecidas a disciplina de *Pasta, Papel, Tratamentos de Superfície e Tecnologia Gráfica* (15 ECTS), e duas disciplinas de *Tecnologia do Papel – Estudos avançados*, com 7,5 ECTS cada. Na Tabela B.4 (Anexo B) encontra-se informação relativa aos tópicos abordados nestas três unidades curriculares. As disciplinas de *Tecnologia da Pasta, Papel e Revestimento e Tecnologia e Produtos Tissue*, dos referidos cursos de mestrado, não funcionaram desde 2016-2017, bem como as de *Tecnologia do Papel e Tecnologia da Pasta* do 1º ciclo do curso de Engenharia Química [15].

Na Finlândia, o mestrado de *Engenharia Química* da Universidade de Turku (Abo Akademi) contempla, no módulo de *Revestimento e transformação do papel*, as disciplinas de *Revestimento* (5 ECTS), *Tecnologia de impressão* (4 ECTS), *Tecnologia de revestimento* (8 ECTS) e *Transformação de papel e cartão* (3 ECTS) [16]. Oferece também formação na área da tecnologia da fibra e da celulose, mas não na da produção de papel.

Na Alemanha a formação está confinada igualmente a unidades curriculares de diferentes mestrados de engenharia, na maior parte dos casos. Porém, no Departamento de Ciência e Tecnologia do Papel da Universidade de Ciências Aplicadas de Munique é possível frequentar o mestrado em *Tecnologia do Papel*, de 3 semestres, para estudantes com formação prévia na área da “Ciência do Papel”, o qual tem como unidades curriculares, entre outras, *Química do papel, Tecnologia do papel e cartão* e ainda *Revestimento e Automação*. Para estudantes sem qualquer formação na área do papel, o mestrado alarga-se a 4 semestres e, às disciplinas anteriores acrescem as de *Introdução à tecnologia do papel, Tecnologia da pasta, Preparação da pasta e Propriedades do papel* [17].

O Instituto de Tecnologia do Papel, da Pasta e da Fibra, na Universidade Técnica de Graz, na Áustria, oferece um curso de pós-graduação, não conferente de grau, de *Tecnologia da Pasta e do Papel*, a funcionar em 3 semestres e equivalente a 80 ECTS [18]. As unidades curriculares especificamente relacionadas com a celulose e o papel e os respetivos ECTS são: *Tratamento de materiais fibrosos*, 3; *Física do papel*, 3; *Fibras primárias*, 4; *Formação e mistura*, 4; *Laboratórios de tecnologia de celulose*, 2; *Produção de papel e cartão*, 5; *Tecnologia de revestimento e transformação*, 4; *Aditivos químicos na fabricação de papel*, 2; *Laboratórios e tecnologia de revestimento*, 3; *Projeto*, 8. Há ainda uma disciplina de *Simulação* (8 ECTS) e uma optativa de *Reciclagem* (3 ECTS). A mesma escola disponibiliza uma formação de 1º ciclo, de Engenharia de Processos, de 3 anos (180 ECTS), seguida do mestrado em *Tecnologia de Pasta e de Papel*, de 2 anos (120 ECTS), com 30 créditos para a tese e 67 créditos em disciplinas obrigatórias: *Engenharia de processos / Fundamentos avançados* (22 ECTS); *Indústria de pasta e papel* (12 ECTS); *Produção e processamento de papel* (25 ECTS); *Aplicações de design de software* (8 ECTS) [19].

Também em França, na anteriormente designada “*École Française de Papeterie et des Industries Graphiques*”, onde era dada formação específica de renome na área do papel em cursos de banda estreita (frequentados aliás por alguns dos atuais quadros da indústria nacional do papel), o ensino está agora limitado a disciplinas integradas em cursos de 1º ciclo e mestrados de maior abrangência. Assim, no Instituto Politécnico de Grenoble (*École internationale du papier, de la communication imprimée et des biomatériaux (Pagora)*), a escola de referência neste domínio, é dada alguma formação no âmbito do curso *Ciências do Papel, Comunicação Impressa e Biomateriais*, com a duração de 3 anos e conducente ao grau de Mestre [20]. Este curso funciona por módulos, sendo que os mais relacionados com a fabricação do papel são: no 1º ano, *Fibras e papéis* (6 ECTS); no 2º ano, no ramo de “*Engenharia da fibra e dos biomateriais*, os módulos de *Energia e processos* (1,2 ECTS), de *Engenharia dos processos papeleiros* (3,3 ECTS) e de *Papel e polímeros* (3,3 ECTS). Finalmente, no 3º ano, a tese (60 ECTS), enquadrada no tema geral de *Biorrefinaria: bioenergia, bioprodutos e biomateriais*, pode versar trabalhos relacionados com celulose e papel, dadas as muitas valências e elevada qualidade de investigação e desenvolvimento desta escola e a sua forte ligação e proximidade geográfica ao “*Centre Technique du Papier*” (ambos na *Rue de la Papeterie*, no campus universitário de Grenoble). Na Tabela B.4 são listados os conteúdos dos módulos acima referidos.

Com o objetivo de potenciar as sinergias de valências entre diferentes escolas, e simultaneamente aumentar o universo de possíveis interessados por estudos na área da celulose e papel, algumas instituições estabeleceram protocolos de cooperação, na maioria dos casos abrangendo apenas programas doutorais mas em certas situações também cursos

de mestrado. Como exemplo, o acima referido mestrado em *Engenharia Têxtil e Papeleira* da Universidade Politécnica da Catalunha funcionou, em edições anteriores, em parceria com a Escola Politécnica Superior da Universidade de Girona. Também o *KTH* (Suécia) estabeleceu acordos de dupla titulação com a Escola *Pagora* e com a Universidade de Darmstadt (Alemanha), entre outras [9]. Menção é devida às duas edições (2000-2001 e 2003-2004) do mestrado em *Engenharia dos Processos de Produção de Pasta para Papel*, realizado no âmbito de um protocolo de colaboração entre o RAIZ – Instituto de investigação da Floresta e do Papel e as Universidades de Coimbra, de Aveiro e da Beira Interior, e no qual existia uma disciplina de *Introdução à qualidade do papel*.

Na América do Norte, berço das primeiras escolas com formação específica em “Celulose e Papel”, destacam-se aqui, de entre as várias universidades que se poderiam indicar, a “*State University of New York*” (*SUNY*) e a “*North Carolina State University*” (*NCSU*). Na primeira existem os cursos de *Ciência em Engenharia do Papel* [21] e de *Ciência dos Materiais Renováveis*, com opção de *Ciência do Papel* [22] e na segunda o de *Ciência e Engenharia do Papel* [23]. São cursos ao nível de 1º ciclo (*bachelor*, BSc., 4 anos), estando listadas nas Tabelas B.6 e B.7 as respetivas unidades curriculares relacionadas com a área do papel e os correspondentes créditos. A *SUNY* permite realizar teses de mestrado em *Química Coloidal e Floculação das Fibras* e em *Física da Fibra e do Papel*, desde que os estudantes tenham formação de 1º ciclo adequada [24]. Outras universidades americanas fornecem formação em ciência e tecnologia do papel (Tabela B.1), com planos de estudo equivalentes, destacando-se as que integram a *Pulp and Paper Education and Research Alliance* (PPERA), cujo objetivo é o de desenvolver programas complementares de educação (e também investigação e serviços) que sejam mutuamente benéficos e contribuam para o progresso da indústria papeleira na América do Norte.

No Canadá, o curso de bacharelato de *Engenharia Química* da Universidade de McGill oferece a disciplina de *Princípios de engenharia em processos de pasta e papel* (3 créditos), com um programa um pouco diferente do que é comum nas demais escolas e centrado na aplicação dos princípios da engenharia química (termodinâmica, mecânica de fluidos, transferência de massa e calor, reação) aos processos de produção de pasta e papel, para além de uma abordagem inicial à caracterização da madeira, da pasta e do papel. Contudo, esta disciplina não é oferecida desde o ano letivo de 2016-2017 [25].

No Brasil, primeiro produtor mundial de pastas de eucalipto, existem diversas Escolas com formação em celulose, mas também em papel, como sejam a Universidade Federal de Viçosa ou a Universidade de S. Paulo, entre outra. Nesta última, o curso de *Ciências Florestais* tem no seu plano de estudos a disciplina de *Tecnologia de celulose e papel* (75 horas, 3 créditos) [26].

Relativamente à Argentina pode referir-se o mestrado em *Ciências da Madeira, celulose e papel* da Universidade Nacional de Misiones [27].

O *Bioresource Processing Research Institute* (BioPRIA), na Austrália, em parceria com a Universidade Monash, tem um mestrado de *Engenharia dos Biorecursos*, Ramo de *Pasta e Papel*, para especialização após uma formação prévia de 4 anos. Neste mestrado são disponibilizados os módulos de *Processamento de fibras em papel* e *Desempenho de produtos papeteiros*, ambos ministrados em 5 dias letivos [28].

O Departamento de Tecnologia da Pasta e do Papel do Instituto Indiano de Tecnologia tem um curso de 4 anos conducente ao grau de bacharel em *Engenharia da Pasta e do Papel* e um mestrado de 2 anos em *Tecnologia da Pasta e do Papel* [29]. No primeiro, são disciplinas obrigatórias no domínio da celulose e papel as seguintes: *Introdução ao fabrico de pasta e papel*, *Papermaking (I e II)* e *Papeis para impressão e embalagem*. Os respetivos conteúdos são apresentados na Tabela B.8. A estas acrescentam disciplinas opcionais como, por exemplo, *Química do papel* ou *Física do papel*.

A concluir esta apresentação não exaustiva da oferta de estudos de ciência e tecnologia do papel em outras escolas, refere-se a China, onde a indústria de papel tem tido um crescimento exponencial e onde se encontram as maiores máquinas de produção do mundo. Assim, na Universidade de Ciência e Tecnologia de Kunming e na Universidade de Guangxi existe um mestrado de 3 anos em *Engenharia da Pasta e da Produção de Papel*, e na Universidade de Tecnologia do Sul da China um mestrado igualmente de 3 anos de *Engenharia da Pasta e do Papel*, mas muitas outras escolas oferecem estudos neste domínio [6,30,31]. De referir que também entre universidades da Europa, das Américas do Sul e do Norte e da Ásia se estabeleceram protocolos de colaboração [9].

Quer se trate de disciplinas isoladas no âmbito de cursos de mestrado (ou bacharelato) ou de cursos de mestrado desenhados especificamente para a formação de engenheiros com bases técnicas e científicas sólidas para satisfazer as necessidades da indústria, e apesar da enorme diversidade de oferta formativa patente nos parágrafos anteriores, existem tópicos/conteúdos que são comuns e de carácter obrigatório em qualquer programa/plano de estudos, abordados de forma mais ou menos aprofundada consoante a extensão do curso. É desde logo o caso da matéria-prima utilizada (tipos de fibras e propriedades) e dos diferentes tipos de produtos papeteiros. Ao nível dos processos, considera-se sempre a preparação da pasta, aqui contemplando necessariamente a refinação e a mistura com os aditivos, e seguidamente a formação da folha, a secagem, os tratamentos de superfície e o acabamento, bem como os equipamentos de cada etapa. Associado à preparação da pasta e à formação, aborda-se a complexa química da parte húmida. Ao nível das propriedades, estuda-se a física do papel,

analisando sempre as propriedades estruturais, de resistência mecânica, de absorção e óticas mais comuns, e os testes utilizados para a sua medição, tendo em conta também as especificidades de cada tipo de produto. Em alguns casos, o estudo é alargado a tópicos como a orientação das fibras, a estabilidade dimensional, os efeitos da humidade, entre outros. Os equipamentos utilizados nas diferentes etapas/processos podem ser também estudados ainda em mais detalhe, em termos de componentes, funcionamento e efeito nos processos e propriedades do produto. Se bem que importantes, os processos de revestimento e transformação nem sempre são incluídos nos programas, assim como os processos relacionados com a reciclagem do papel. Menos ainda o são o estudo do controlo e automação do processo, do sistema de quebras ou do circuito de águas brancas. Por sua vez, as tecnologias de impressão surgem frequentemente em cursos totalmente autónomos dos de ciência e tecnologia do papel.

Da análise das unidades curriculares mencionadas nesta secção, conclui-se que para a maioria o número de créditos varia entre 3 e 6, consoante o enquadramento no correspondente plano de estudos.

2. ENQUADRAMENTO

2.1 Enquadramento da unidade curricular no plano de estudos do MIEQ

O Mestrado Integrado em Engenharia Química (MIEQ), homologado no âmbito da Reforma de Bolonha e acreditado pela Agência de Avaliação e Acreditação do Ensino Superior (A3ES) por 6 anos (desde 06/04/2015), e pela Ordem dos Engenheiros com a Marca de Qualidade EUR-ACE por 3 anos (desde 21/03/2017), é constituído por dois ciclos. No final do 1º ciclo (3 anos) os estudantes adquirem o grau de Licenciados em Ciências da Engenharia, mas só com a conclusão do 2º ciclo (2 anos) adquirem o grau de Mestre em Engenharia Química. No início do 2º ciclo (4º ano do MIEQ), os estudantes optam por uma de duas áreas de especialização: *Processo, Ambiente e Energia* ou *Biosistemas*. Em qualquer uma das áreas de especialização, os estudantes podem frequentar a unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* como opção no 1º semestre tanto do 4º quanto do 5º ano letivo [32]. A esta unidade curricular correspondem 5 ECTS e 56 horas de contato, sendo 42 de aulas teóricas e 14 de aulas teórico-práticas (ou de laboratório). A título de exemplo, no ano letivo de 2016-2017 estas aulas distribuíram-se em sessões de 2 e de 3 horas e, no caso das visitas e práticas

laboratoriais, de 4 horas. A distribuição da carga horária semanal não é uniforme ao longo do semestre, embora na maioria dos casos corresponda a 3 horas por semana.

A comparação com a formação dada em outras escolas só faz sentido quando consideradas disciplinas isoladas e não planos de estudo completos. No caso de Portugal, a unidade curricular tem menos ECTS dos que as indicadas nas Tabelas 2, 3 e 4 (Universidade de Aveiro e Instituto Superior de Agronomia), que são obrigatórias mas nas quais apenas uma pequena parte do programa aborda a produção de papel. Tem também menos ECTS do que a disciplina de *Iniciação às tecnologias industriais papelreira e gráfica* do Departamento de Engenharia Têxtil e Papeleira da Universidade Politécnica da Catalunha, e do que as da Universidade de Karlstadt apresentadas na Tabela B.4, todas opcionais. Estas porém têm um programa mais extenso. Na maioria dos casos são disciplinas de 2º ciclo, tal como a de *Ciência e Tecnologia do Papel* do MIEQ. Para esta, o autor sugere que se mantenha ao nível do 2º ciclo, com carácter de opção e, tal como as outras opções do MIEQ, também com 5 ECTS.

No plano de estudos do MIEQ existe também como disciplina de opção a de *Ciência e Tecnologia da Pasta*, cuja frequência se recomenda como prévia aos alunos interessados em *Ciência e Tecnologia do Papel*, por razões óbvias. Todavia, como a primeira é apenas oferecida no 2º semestre do 4º ano, os estudantes que optem por frequentar a segunda no 1º semestre do 4º ano não possuem ainda quaisquer bases sobre os processos de produção de pasta para papel, matéria-prima utilizada, propriedades das fibras ou potencial papelreiro das pastas, que são tópicos cruciais para a compreensão dos conteúdos fundamentais desta unidade curricular. Acresce ainda que há estudantes que optam por frequentar a disciplina de *Ciência e Tecnologia do Papel* e não frequentar a de *Ciência e Tecnologia da Pasta*. Por estas razões, e não obstante ser reduzido o número de alunos nas duas situações descritas, a segunda aula do programa da unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* é totalmente dedicada aos fundamentos dos tópicos referidos, incluindo conhecimentos de botânica, concretamente da anatomia, ultra-estrutura e composição química da madeira (e outras fontes de fibra).

Para além dos conhecimentos adquiridos na unidade curricular de *Ciência e Tecnologia da Pasta* (cuja frequência prévia é portanto aconselhada), a inscrição em *Ciência e Tecnologia do Papel* pressupõe ainda como conhecimentos de base recomendados os transmitidos nas seguintes disciplinas do MIEQ: *Introdução aos Processos Biológicos* e *Química Orgânica*, do 1º ano; *Termodinâmica Química*, *Balanços Mássicos e Energéticos*, *Fenómenos de Transferência I*, *Fenómenos de Transferência II* e *Introdução aos Materiais e Caracterização*, do 2º ano; *Fenómenos de Transferência III*, *Processos de Separação* e ainda *Processos de Separação II*, do 3º ano. Na medida em que o 2º ciclo do MIEQ também está disponível para estudantes com outra formação a nível do 1º ciclo, distinta da do MIEQ, mediante uma análise do plano de

estudos que tenham cumprido, estes devem ter também assimilados conhecimentos nas áreas de Química orgânica, Termodinâmica, Balanços mássicos e energéticos, Transferência de quantidade de movimento, massa e calor, bem como de Processos de separação. A este respeito, interessa recordar a já atrás mencionada disciplina de *Princípios de engenharia em processos de pasta e papel*, da Universidade de McGill, cujo programa se focaliza precisamente na aplicação dos princípios da Engenharia Química na produção de pasta e de papel.

O facto de a unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* fazer apelo a conhecimentos tão diversos, que incluem a botânica, a química, a física, a matemática e até eventualmente a computação/simulação, para além dos fundamentos de engenharia química / mecânica / industrial, revela o seu carácter multidisciplinar e integrador de saberes de outras disciplinas, o que constitui uma vantagem (e um desafio também). Mas de outra forma não poderia ser pois, citando James d’A. Clark, “*one of the fascinating aspects of the pulp and paper industry is that in it almost every science and technology has some application*” [33].

Os estudantes que escolhem *Ciência e Tecnologia do Papel* devem seleccionar, atualmente, duas de entre nove opções disponíveis, mas ainda assim, e apesar de ser considerado pelos alunos que a disciplina tem uma elevada carga de esforço, esta tem funcionado geralmente com mais do que 15 alunos inscritos, como já referido anteriormente. Se se atender aos resultados dos inquéritos pedagógicos de 2018, 44% dos estudantes respondentes consideraram que a carga de esforço era adequada, 33% consideraram-na moderadamente pesada e 11% definiram-na como excessiva. Neste contexto, a taxa de frequência acima da média no universo das disciplinas de opção encontra, na opinião do autor, explicação em alguns dados fundamentais: os estudantes associam o conhecimento que podem adquirir como necessário para poderem trabalhar numa das maiores indústrias do país; reconhecem a enorme vantagem de algumas aulas serem ministradas por técnicos da indústria; sentem-se atraídos pela realização de visitas de estudo a unidades industriais; valorizam a necessidade de terem de integrar conhecimentos adquiridos em outras unidades curriculares e, *last but not least*, esforçam-se por poder frequentar um estágio profissional no final do mestrado. Na verdade, ao abrigo de um protocolo estabelecido com a *The Navigator Company*, os alunos de cada ano letivo são integrados numa bolsa de candidatos e são seleccionados dois de entre os com melhor desempenho para a frequência de um estágio numa das unidades fabris do Grupo, o que constitui à partida uma grande mais-valia para a entrada no mercado de trabalho. Este protocolo aplica-se também aos alunos da unidade curricular de *Ciência e Tecnologia da Pasta*.

Na Tabela 6 apresentam-se os dados relativos ao número de estudantes inscritos, num universo de 45 a 50 estudantes do MIEQ, e às taxas de aprovação, desde o ano de 2011/2012.

Os valores são globalmente positivos. Porém, entre 2013 e 2016 ocorreu uma redução significativa da percentagem de aprovação, que o autor atribui à crescente falta de bases dos estudantes e conseqüente dificuldade em acompanhar a unidade curricular. Este fator também se refletiu no ano letivo 2016/2017, não na taxa de aprovações mas na média das classificações obtidas pelos estudantes.

A concluir, importa frisar que as disciplinas de *Ciência e Tecnologia da Pasta* e de *Ciência e Tecnologia do Papel* têm, em muitos casos, servido de suporte aos alunos para a realização de dissertações de mestrado na área, as quais beneficiam dos conhecimentos adquiridos nestas unidades curriculares. No período de 2011-2018 perto de 30 teses foram defendidas neste contexto.

Tabela 6 – Número de estudantes inscritos e taxas de aprovação na unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel*, para alunos do MIEQ.

	2011 2012	2012 2013	2013 2014	2014 2015	2015 2016	2016 2017	2017 2018	2018 2019
Estudantes inscritos (A)	14	15	31	22	15	25	11	26
Estudantes que frequentaram (B)	13	15	29	21	12	24	7	21
Estudantes que frequentaram (%)	93	100	94	96	80	96	64	81
Estudantes aprovados (C)	11	12	15	13	8	20	7	---
Estudantes aprovados (C/B) (%)	85	80	52	62	67	83	100	---

2.2 Oferta da unidade curricular a outros cursos

O Mestrado de Especialização Avançada de *Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal* (área de especialização em Biotecnologia), disponibilizado pelo Departamento de Ciências da Vida, e também o Mestrado de Continuidade em *Engenharia de Materiais*, disponibilizado pelo Departamento de Engenharia Mecânica, ambos de dois anos, têm incluído como opção no 1º semestre do 1º ano a disciplina de *Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel*, de 6 ECTS. Por uma questão de otimização de recursos do DEQ e da FCTUC e dado o reduzido número de alunos nestas disciplinas (um a dois por ano), elas têm funcionado em simultâneo com a de *Ciência e Tecnologia do Papel*. No entanto, a partir de 2017-2018 deixou de integrar o curriculum do mestrado de *Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal*, decisão provavelmente associada à baixa procura por parte dos estudantes e aos dados relativos à frequência às aulas e taxas de aprovação de anos anteriores. O autor é da opinião que faz todo o sentido continuar a existir uma unidade curricular relacionada com o estudo do material “papel” no mestrado em *Engenharia de Materiais*, embora o nome deva ser alterado assim que possível.

3. OBJETIVOS E COMPETÊNCIAS A DESENVOLVER

Em 2009, a *Forest-based Sector Technology Platform* (FTP) constituiu um grupo de trabalho (*Education and Training Group*, ETG) com o objetivo de estabelecer, a nível Europeu, as necessidades de educação e formação que pudessem satisfazer os desafios de investigação e desenvolvimento do sector da floresta definidos na *Strategic Research Agenda* (SRA) e dar corpo à visão do setor para o ano 2030: uma indústria da fileira florestal competitiva, baseada no conhecimento e capaz de promover o uso prolongado dos recursos renováveis. Este grupo de trabalho incluía quatro subgrupos, um deles especificamente dedicado ao sector da pasta e do papel, o qual reconheceu ser fulcral repensar a educação (e a formação) no contexto das intensas e rápidas alterações na sociedade. Como resultado, este sub-grupo elencou um conjunto de competências necessárias num “Engenheiro do Papel”: conhecimentos de engenharia e processos de pasta e papel, de tecnologias de transformação, embalagem, impressão, energia e ambiente, e ainda conhecimentos nas áreas da bio e da nanotecnologia, da gestão, do mercado/negócio, para além de valências de liderança e de comunicação [9].

Não podendo naturalmente satisfazer todos estes objetivos, a unidade curricular apresentada pretende contribuir para a aquisição, difusão, promoção e aplicação do conhecimento do processo de produção de papel, a um nível que permita satisfazer as necessidades da indústria papelreira (e afins), que não apenas em Portugal. Como já referido, pretende-se que os estudantes adquiram bases técnicas e científicas para uma mais fácil integração na atividade de *papermaking* e para darem um importante contributo para o desenvolvimento do setor.

A satisfação deste objetivo geral passa por transmitir aos estudantes informação de modo a que estes:

- se apercebam da importância da indústria do Papel (e da Pasta, por acréscimo);
- dominem os conceitos fundamentais da composição e estrutura das fibras papelreiras e sua influência nas propriedades do papel;
- conheçam os principais tipos de papéis e os principais componentes do papel (fibras, cargas e aditivos) e a sua função;
- conheçam a química e a física do papel;
- assimilem os conceitos básicos dos processos de preparação da pasta (desintegração, refinação, depuração, crivagem e mistura, formação da folha, prensagem, secagem, tratamento da superfície, acabamento e transformação), bem como os principais equipamentos de cada etapa;

- tenham noção das especificidades da produção de papéis para uso doméstico e sanitário e para papéis de embalagem;
- adquiram noções do processo de reciclagem do papel e da utilização de papéis reciclados;
- conheçam as propriedades mais relevantes dos diferentes tipos de papeis, os métodos usados na sua análise/quantificação e a importância do controlo da qualidade no setor;
- identifiquem ao longo do processo operações onde ocorre transferência de massa, de energia e de quantidade de movimento;
- efetuem cálculos associados às diferentes etapas do processo e principais equipamentos, quando aplicável;
- sejam capazes de, em laboratório, produzir papel (e não apenas “folhas” de pasta) e avaliar as suas propriedades;
- identifiquem, em fábrica, as operações e equipamentos estudados.

Em termos dos descritores do Quadro Nacional de Qualificações para o Ensino Superior (QQES) e dos descritores de Dublin aplicáveis ao 2º ciclo, espera-se que os alunos adquiram as seguintes competências [34, 35]: domínio do conhecimento teórico (perceber, acompanhar e relacionar/integrar o conhecimento da matéria); capacidade de aplicar na prática e em novas situações os conhecimentos adquiridos, em contextos alargados e multidisciplinares; capacidade de trabalhar a muita informação disponível; capacidade crítica, de análise e de síntese; capacidade de aprender autonomamente ao longo da vida, de um modo fundamentalmente auto-orientado; capacidade de trabalhar em equipa; capacidade de comunicar por escrito e oralmente as suas conclusões/raciocínios, de forma clara e sem ambiguidades.

Os estudantes que concluírem com sucesso a unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* devem ser capazes de perceber as especificidades do processo de produção de papel e conhecer com algum detalhe as suas diferentes etapas bem como as propriedades mais relevantes dos produtos, de acordo com as diferentes aplicações. Naturalmente que não se espera formar especialistas que dominem em profundidade todas as vertentes do processo de *papermaking*, nem tal seria possível com apenas uma disciplina semestral e uma indústria com tão elevado grau de complexidade. Espera-se, antes, que a unidade curricular faculte aos estudantes, no final, as ferramentas necessárias para poderem exercer a sua atividade profissional no setor da indústria papeleira, a qualquer nível, interagindo mais facilmente com engenheiros do processo e operadores, obviamente com vantagens acrescidas em relação a quem não frequentou a disciplina. Adicionalmente, espera-se fornecer as bases para se sentirem aptos a, mais facilmente, trabalharem em áreas afins à da produção do papel, como por exemplo a da produção da pasta, desde logo, mas também a do fornecimento de químicos,

do tratamento de águas ou das tecnologias de impressão, entre outras. Com a conclusão desta disciplina, os alunos devem sentir-se mais motivados para realizarem a sua tese de mestrado em temas relacionados com esta área do conhecimento, e aqueles mais vocacionados para uma carreira de investigação / desenvolvimento devem sentir maior curiosidade/apetência para enveredem por este domínio do saber.

4. PROGRAMA

4.1 Resumo do programa

O programa da unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* foi, nos anos letivos de 2015-2016 a 2018-2019, o que se apresenta de seguida, e difere muito pouco dos programas ministrados desde 2011, incluindo a mais apenas os tópicos relacionados com a produção de papel *Tissue* e a *Produção, caracterização e utilização de nanoceluloses*:

- Introdução. O Mercado do Papel
- Introdução ao processo de produção do Papel.
- Revisões: Matéria-Prima; Processos de produção de Pasta; Cozimento; Branqueamento
- Tipos de papel e adequabilidade das pastas
- Preparação de Pastas
- Química da Parte Húmida
- Máquina de Papel - Parte Húmida
- Secagem e Acabamento
- Controlo de Qualidade do Papel. Propriedades do papel
- Papeis *tissue*. Especificidades do processo e do produto
- Tecnologias de impressão. Qualidade de Impressão.
- Reciclagem do papel
- Nanoceluloses: produção e utilização em *papermaking*

Tal como em anos anteriores, também nestes dois últimos anos letivos se realizaram visitas de estudo ao RAIZ (para acompanhamento de ensaios de refinação, físico-mecânicos e de avaliação da qualidade de impressão), à Fábrica de Papel não revestido da Soporcel e à Fábrica de Papel do Prado – Cartolinas da Lousã.

Em todos os programas ministrados no DEQ na área do papel ao longo do tempo (*Tecnologia do papel, Tecnologia da pasta e do papel, Ciência e tecnologia do papel*) o autor tem tido uma

intervenção decisiva na definição dos conteúdos, bem como no alinhamento dos mesmos, o qual nem sempre é o mais adequado tendo em contas as limitações de agenda de alguns dos colaboradores da indústria responsáveis por determinados os tópicos.

O programa que de seguida se propõe para ser aplicado tão logo quanto possível tem por base o acima indicado. Assim, embora com maior enfoque nos processos de produção de papéis finos de impressão e escrita não revestidos, pelas razões já aduzidas, inclui, como se constata na lista anterior, conteúdos relacionados com os papéis de uso doméstico e sanitário e com os papéis reciclados. Porém, pretende-se abordar agora com um pouco mais de profundidade a química e a física do papel, e ainda referir as especificidades do cartão e dos papéis de embalagem. Como consequência, e para ajustar o programa da unidade curricular à carga letiva da mesma, o autor optou por não abordar o estudo das tecnologias de impressão e por incluir tópicos de avaliação da qualidade de impressão no final do estudo das propriedades do papel. Pela mesma razão, tópicos como *Integração de processos na indústria papelreira*, *Modelação de processos*, *Controlo e simulação de processos*, *Fecho de circuitos na fábrica*, *Redução de impactos ambientais*, *Aplicações da biotecnologia na indústria papelreira* ou *Papéis especiais (specialties)*, entre outros que são estudados em algumas disciplinas específicas de mestrados de ciência e tecnologia do papel [11, 27], não estão incluídos no programa proposto. No entanto, alguns destes tópicos podem ser abordados em outras unidades curriculares do MIEQ, como exemplos de aplicação numa fábrica de papel. Também não se considerarão temas como os circuitos das águas, as “vestimentas” da máquina de papel, os sistemas de vácuo, a corrosão ou as vibrações, de entre vários que, sendo importantes numa fábrica e de grande interesse para os profissionais do setor, não são fundamentais para o cumprimento dos objetivos da unidade curricular.

O programa proposto, estruturado para um semestre letivo de 14 semanas, com 56 horas de contato, o que corresponde em média a 4 horas por semana, é constituído por 12 capítulos:

1. Introdução
2. Matéria-prima e processos de produção de pasta para papel
3. Potencial papelreiro das pastas
4. Química do papel
5. Física e propriedades do papel
6. Preparação das pastas
7. Máquina de papel: parte húmida
8. Máquina de papel: secagem
9. Colagem de superfície, revestimento e acabamento

10. Papéis *tissue* e papéis e cartões para embalagem
11. Papel reciclado
12. Nanoceluloses na indústria papelreira – produção, propriedades, caracterização e aplicações

O resumo do conteúdo de cada capítulo, bem como o número de horas de aula (não laboratoriais) consideradas necessárias para cada um, tendo em conta a experiência do autor, são os a seguir discriminados:

Capítulo 1 – Introdução (2 horas)

A indústria do papel, importância económica, panorama a nível nacional e mundial. História do papel. Definição de papel e cartão. Tipos de papel e cartão. Constituição do papel. Esquema geral de uma fábrica e fluxograma do processo de produção - uma primeira abordagem.

Capítulo 2 – Matéria-prima e processos de produção de pasta para papel (4 horas)

Fontes de fibras. Anatomia da madeira (tipos e funções das fibras, biometria). Composição química da madeira e das fibras. Ultra-estrutura da parede da fibra. Parâmetros relevantes da estrutura das fibras. Conceitos básicos sobre: processos de produção de pasta e tipos de pasta; processo *kraft*, branqueamento de pastas (agentes, mecanismos e sequências de branqueamento). Caracterização das pastas.

Capítulo 3 – Potencial papelheiro das pastas (2 horas)

Propriedades das fibras (a seco e a húmido). Propriedades para avaliação da adequabilidade das pastas (estruturais, de resistência e óticas). Apresentação de um caso de estudo.

Capítulo 4 – Química do papel (6 horas)

Ligações químicas em *papermaking*. Noções de química coloidal. Potencial zeta. Demanda catiónica. Floculação, retenção e drenagem. Aditivos funcionais e aditivos do processo. Cargas. Molhagem e Penetração. Colagem interna. Agentes de resistência a seco e a húmido. Corantes e branqueadores óticos. Controlo da qualidade na química da parte húmida.

Capítulo 5 – Física e propriedades do papel (6 horas)

Estrutura do papel (geometria bi e tridimensional e estrutura porosa). Ligação entre as fibras. Formação, orientação das fibras, anisotropia. Estabilidade dimensional. O papel como material viscoelástico. Propriedades gerais do papel e sua medição: estruturais, óticas, de resistência mecânica, de superfície, de absorção, térmicas, elétricas e de impressão. Propriedades de uso final dos papéis de impressão e escrita.

Capítulo 6 – Preparação das pastas (3 horas)

Refinação (conceito, objetivos, efeitos, equipamentos). Preparação de pasta: desintegração de pasta e quebras, regulação da consistência, mistura de pastas, espessamento e recuperação de sólidos das águas brancas. Aproximação de pasta: depuração, desarejamento, crivagem, doseamento de aditivos.

Capítulo 7 – Máquina de papel: parte húmida (3 horas)

Caixa de chegada. Controlo MD/CD. Mecanismos de formação da folha. Tipos de formadores e componentes. Efeitos da formação na estrutura e propriedades da folha, no plano X-Y e em Z. Prensas: fundamentos, variáveis do processo e de equipamento, efeitos na estrutura e propriedades da folha, tipos de prensas.

Capítulo 8 – Máquina de papel: secagem (4 horas)

Teoria da secagem: requisitos e conceitos fundamentais. Métodos de secagem. Secagem multi-cilindros - especificidades. Sistemas auxiliares de uma secaria. Efeitos nas propriedades do papel. Cálculos da velocidade de secagem, balanços de massa e de energia na secaria.

Capítulo 9 – Colagem de superfície, revestimento e acabamento (4 horas)

Colagem superficial: objetivo, aditivos, equipamento. Revestimento: formulações de revestimento, pigmentos, ligantes e co-ligantes, preparação e aplicação das formulações, equipamento, secagem. Importância da estrutura e da topoquímica do papel. Acabamento: calandragem, enrolamento e bobinagem. Breve referência ao processo de transformação do papel.

Capítulo 10 – Papéis *tissue* e papéis e cartões para embalagem (4 horas)

Principais categorias de papéis *tissue*, e propriedades relevantes. Matéria-prima, preparação do *furnish* e máquina de papel. O cilindro Yankee. A crepagem. Acabamento, transformação e embalagem. Principais categorias de papéis e cartão para embalagem, matéria-prima, processo de produção e propriedades relevantes. Revestimento e transformação.

Capítulo 11 – Papel reciclado (2 horas)

Utilização de fibras secundárias (recicladas). Propriedades das fibras recicladas. Produção de papel reciclado ou incorporando fibras recicladas – as várias etapas. Águas no processo de reciclagem. Breve referência ao envelhecimento do papel e causas da degradação.

Capítulo 12 – Nanoceluloses na indústria papeleira – produção, propriedades, caracterização e aplicações (2 horas)

Definições (celulose microcristalina, nanocristalina, microfibrilar, nanofibrilar e bacteriana). Breve resenha histórica, panorama atual e perspetiva futura. Produção. Propriedades e Caracterização. Aplicações gerais. Aplicações na indústria papeleira. Apresentação de um caso de estudo.

No total, os conteúdos dos capítulos mencionados correspondem a 42 horas de contato, no formato de aulas teóricas e teórico-práticas, nas quais se poderão resolver alguns problemas e analisar casos práticos. As restantes 14 horas serão distribuídas por aulas de laboratório (8 horas), onde se pretende que os estudantes apliquem / consolidem parte dos conhecimentos adquiridos (refinação de pastas, produção de folhas e efeito de aditivos na retenção de cargas e nas propriedades dos papéis produzidos) e por duas visitas de estudo a fábricas de papel (6 horas), nas quais os estudantes tomarão contato próximo com os processos e os equipamentos.

Idealmente a unidade curricular deverá funcionar com um módulo único de 4 horas por semana, mas se tal não for possível poderá ajustar-se a um modelo de 2 x 2 horas por semana, em dias distintos. A exceção corresponde às visitas de estudo (3 horas úteis) e, em caso de necessidade por imposição de agenda, às sessões ministradas por peritos da indústria.

De facto, na continuidade da colaboração que tem existido com o grupo *The Navigator Company*, alguns capítulos (ou parte de capítulos) poderão, com vantagens acrescidas, ser ministrados por técnicos superiores de fábricas do grupo ou de outras fábricas. Tal é o caso, na opinião do autor, dos Capítulos 6 (Preparação das pastas), 7 (Máquina de papel: parte húmida), 8 (Máquina de papel: secagem), 9 (Colagem de superfície, revestimento e acabamento), 10 (Papéis *tissue* e papéis e cartões para embalagem) e 11 (Papel reciclado), sem prejuízo de participações pontuais em outros tópicos do programa.

4.2 Programa detalhado

Nos parágrafos seguintes é apresentado com maior detalhe o programa de cada um dos capítulos mencionados na secção anterior, com indicação do número de aulas previsto tendo em conta a carga horária correspondente, bem como das atividades complementares (e.g., exercícios teórico-práticos, trabalho de laboratório).

Capítulo 1 – Introdução (2 horas)

Neste capítulo pretende-se por um lado dar conta da relevância da indústria do papel, a vários níveis, com o objetivo de alertar os estudantes para a importância e interesse da unidade curricular e, por outro, transmitir alguns conceitos que servirão de base para os capítulos seguintes. Começar-se-á por falar das indústrias da fileira florestal e da sua relevância económica, para a seguir se centrar a análise na indústria da celulose e do papel (indústria papeleira) e dar uma perspetiva do panorama mundial, em termos de produção, consumo,

volume de comércio e valor de negócio, relacionando o estado de desenvolvimento de cada país com o consumo de papel (de diferentes tipos), em várias áreas do globo. Passa-se depois para a análise do mercado nacional e europeu, com dados macroeconómicos sobre o volume de emprego, contribuição para o PIB, valor acrescentado bruto, impacto nas exportações, e valores de produção e consumo de papel, cartão e papel reciclado. Será dada especial ênfase ao posicionamento de Portugal, no cenário europeu e mundial, como país produtor de papel, indicando-se as maiores empresas nacionais do sector. A informação transmitida será recolhida em relatórios como os da CELPA – Associação da Indústria Papeleira, da CEPI – *Confederation of European Paper Industries* ou da Pöyry, empresa de consultoria. De seguida, é abordada a “História” do papel, desde a sua invenção na China, aceite até recentemente como tendo ocorrido cerca de 100 d.C.. Fala-se depois da difusão do conhecimento do processo rudimentar de fabricação do papel, séculos mais tarde, para ocidente, chegando à Europa no séc. XII. É ainda dada a cronologia dos desenvolvimentos tecnológicos relacionados com a produção de papel.

Após estas considerações introdutórias, é apresentada a definição de papel, tendo em conta as aplicações (do entrançado de fibras, normalmente de origem vegetal mas que também podem ter origem animal ou sintética) ou a composição e método de produção. Nesta fase são elencados os diferentes tipos de papel, nas categorias de “impressão e escrita”, “sanitários e de uso doméstico e industrial”, “papéis e cartões de embalagem”, e “especialidades”, tendo em conta os atributos funcionais e, quando aplicável, as pastas utilizadas. Especial atenção será dada aos múltiplos tipos de papéis usados para impressão e escrita, relacionando a qualidade com o preço. Como suporte, são referidas as normas ISO e NP relativas ao vocabulário associado a papel e cartão e à classificação dos papéis e cartões (ISO 4046-1:2016, ISO 4046-4:2016, NP 582:1991 e NP 3983:1990).

Em sequência, faz sentido uma primeira abordagem à constituição do papel, considerando as fibras e indicando os vários aditivos estruturais (ou funcionais), ilustrando a apresentação com imagens da superfície e da matriz de diferentes tipos de papel (e.g., sem e com refinação e/ou tratamento de superfície), obtidas por técnicas como SEM, AFM ou ESCA. Os estudantes são assim alertados para a complexidade estrutural do papel. Além dos aditivos funcionais, são listados os aditivos de processo.

O capítulo termina com a apresentação do ciclo de produção da indústria de pasta, papel e cartão e do fluxograma simplificado do processo de fabrico do papel, identificando-se as diferentes etapas, objetivos e correspondentes operações numa fábrica. São igualmente mostrados os circuitos de fibras e auxiliares (aditivos, água, efluentes).

Antes de avançar para o Capítulo 2, os estudantes são alertados para o facto de que muitos dos conhecimentos adquiridos em outras unidades curriculares do MIEQ têm aplicação direta no processo de *papermaking*, como sejam balanços mássicos e de energia, processos de transferência de calor e de massa e processos de separação, química-física das superfícies, para além de fundamentos de termodinâmica, química e de física. São igualmente confrontados com o facto de que na indústria papelreira se usam alguns termos muito específicos, como por exemplo “índice de mão”, e também anglicismos (e.g., *papermaking*, *filler*, *curl*). A este propósito, é chamada a atenção para a importância das fontes da bibliografia da unidade curricular (normas) onde consta o vocabulário usado na indústria papelreira.

Capítulo 2 – Matéria-prima e processos de produção de pasta para papel (4 horas)

O Capítulo 2 tem como objetivo munir os estudantes que não frequentaram *Ciência e Tecnologia da Pasta* com os conhecimentos básicos sobre as fontes de matéria-prima, as fibras e suas propriedades e os processos de produção de pasta (crua e branqueada). Estes tópicos são naturalmente abordados de modo menos aprofundado do que na unidade curricular referida e são introduzidos depois da análise de um esquema no qual se verifica que, de entre os vários parâmetros que afetam as propriedades do produto final (o papel), são desde logo a matéria-prima e a forma como ela é transformada nas sucessivas etapas os mais importantes. São referidas algumas fontes de fibras (madeiras e não madeiras) e de seguida centra-se o estudo nas propriedades e anatomia da madeira, indicando-se os diferentes tipos de células, tecidos e as suas funções. Distingue-se depois a constituição das coníferas e das folhosas, tendo em conta o tipo e a função das células, e são comparados os comprimentos, largura e espessura da parede das fibras de diferentes espécies. Comparam-se ainda fibras madeiras com fibras não madeiras (e.g., de linho, algodão, trigo, cana de açúcar).

É então o momento de passar para a análise da composição química da madeira, detalhando os compostos de baixo peso molecular (cinzas e extratáveis) e os de elevado peso molecular (celulose, hemiceluloses e lenhina). Para estes últimos é apresentada a fórmula química e estrutural e as propriedades mais relevantes de cada um e é também analisada a sua influência no processo de produção do papel e nas propriedades finais deste. Comparam-se de novo coníferas e folhosas, agora em termos químicos, e avalia-se a variação da composição química ao converter a madeira em pasta para papel, tomando como exemplo um processo particular: o cozimento ao sulfato (*kraft*). A fim de os estudantes melhor perceberem os processos de transformação de madeira em pasta bem como a relevância da estrutura das fibras nas propriedades do papel, é estudada a ultra-estrutura da fibra, com as diferentes camadas da parede, sua espessura e composição química, e desconstrução até ao nível das

micro e nanofibrilas. São depois elencados os parâmetros mais relevantes das fibras (na matéria-prima) para a produção de pasta: comprimento, largura/diâmetro, razão comprimento/largura, espessura da parede, ângulo fibrilar e composição química. São referidos métodos expeditos para a avaliação dos parâmetros biométricos das fibras e definidos os diferentes “comprimentos médios” de uma distribuição: ponderados em número, em comprimento e em massa.

Neste capítulo indicam-se ainda alguns processos de produção de pasta utilizados à escala industrial. São apresentados vários processos, desde os totalmente químicos (e.g., à soda, ao sulfato) aos puramente mecânicos, referindo ainda outros como os termomecânicos, sendo depois comparados em termos de rendimento (percentagem de pasta produzida) e “resistência” das pastas obtidas. Para os processos mais relevantes são indicadas as características das pastas (estrutura de fibras e de finos, teor de finos, de lenhina e de açúcares, afinidade à água) e os produtos papeleiros a que mais se adequam. Analisa-se de seguida com algum pormenor o processo ao sulfato (*kraft*), tendo em conta que é o mais utilizado em Portugal: fluxogramas geral e detalhado do processo, preparação de madeiras, deslenhificação *kraft*, recuperação de químicos e energia, processos auxiliares e parâmetros do processo (tempo, temperatura, relação líquido/madeira, rendimentos, alcalinidades, sulfidez). O branqueamento da pasta é também abordado, indicando-se os reagentes mais usados no branqueamento, os mecanismos de atuação, a sua seletividade para a deslenhificação e branqueamento, a capacidade de limpeza e os custos. São apresentados os conceitos de estágio e de sequência de branqueamento, dando-se exemplos e comparando-se algumas sequências. Finalmente especificam-se os principais parâmetros de controlo da qualidade de uma pasta: composição em açúcares, teor de pentosanas, extratáveis, cinzas e impurezas, índice *Kappa*, viscosidade intrínseca, brancura e reversão da brancura. A avaliação do potencial papeleiro de uma pasta, que é também fundamental para o controlo da qualidade da mesma, é analisada no Capítulo 3, dada a sua relevância.

Capítulo 3 – Potencial papeleiro das pastas (2 horas)

Para avaliar a aptidão das pastas para a produção de um determinado produto papeleiro, deve começar-se por estudar as propriedades das correspondentes fibras, pois estas afetam a consolidação da estrutura da folha durante a formação e depois as propriedades do produto final, para além de condicionarem os processos envolvidos. Assim, além dos parâmetros biométricos referidos no Capítulo 2, analisam-se agora outras propriedades das fibras na pasta (a húmido), tais como o *coarseness*, a resistência intrínseca, a porosidade da parede, as deformações, o *curl* (índice de *curl*) e curvatura, a fibrilação (interna e externa), a

conformabilidade (colapsabilidade, flexibilidade), a percentagem de finos e o número de fibras por unidade de massa. Aos estudantes é solicitado neste momento que procurem estabelecer, face aos conhecimentos já transmitidos, relações entre estes parâmetros, e são referidos alguns dos métodos usados para a sua quantificação.

Após a caracterização das fibras de uma dada pasta, estuda-se a drenabilidade da mesma e a produção de folhas de pasta em laboratório, depois da desintegração e, no caso das pastas químicas, da refinação da mesma (também em laboratório). Assim, embora o estudo da refinação seja aprofundado apenas no Capítulo 6, torna-se necessário nesta fase explicar aos estudantes em que consiste a refinação e quais os efeitos desta operação nas fibras. É também referido que a avaliação da aptidão papeleira de uma pasta se faz para diferentes níveis de refinação, de modo a construir-se a chamada “curva de refinação”, a qual é ainda utilizada para comparar o desempenho de pastas distintas. São dados exemplos de alguns refinadores laboratoriais, com especial enfoque no refinador PFI. Apresentam-se depois os métodos mais comuns para medir a drenabilidade das pastas (o de *Schopper-Riegler* e o *Canadian Standard Freeness*) e pede-se aos estudantes para relacionarem o teste de drenabilidade com a operação de filtração de bolo, estudada numa outra unidade curricular, identificando os parâmetros da equação geral da filtração (para bolos compressíveis).

Explicado como se processa a refinação e desintegração da pasta e a formação e condicionamento (em ambiente com temperatura e humidade controlada) da folha, segue-se o estudo pormenorizado das propriedades papeleiras, para pastas químicas e mecânicas, não sem que antes os estudantes sejam alertados para o facto de que estas tanto se medem em folhas de pasta, com o objetivo de analisar a sua aptidão para formar papel, como depois, muitas delas, em folhas de papel (e cartão), já com os demais componentes da matriz. Neste contexto, é referida a norma ISO 4046-5:2016. São estudadas as seguintes propriedades, indicando-se para cada uma quais as normas aplicáveis bem como quais os equipamentos/técnicas utilizados para a sua medição: propriedades estruturais (gramagem, espessura, volume específico, permeabilidade/resistência ao ar), propriedades óticas (refletância, opacidade, coeficiente específico de dispersão de luz, brancura (se aplicável)) e propriedades de resistência mecânica (resistência à tração, ao rebentamento e ao rasgamento, resistência interna, resistência (à tração) de *zero-span*). Com base no ensaio de tração, fala-se ainda da rigidez à tração, do módulo de elasticidade, do alongamento e do comprimento de rutura. É agora o momento para se estabelecer a relação entre as propriedades das fibras (biométricas e químicas) e as das folhas produzidas com as correspondentes pastas, apelando-se à participação ativa dos estudantes. Apresentam-se depois as estratégias de avaliação do potencial papeleiro para pastas químicas e mecânicas, baseadas na comparação

de pastas em termos da evolução com a refinação de pares de propriedades (e.g., tração e rasgamento).

O Capítulo 3 conclui com a apresentação e discussão de um caso de estudo, partindo de um produto final (e.g., papel decorativo) e dos requisitos a que o mesmo deve obedecer para estabelecer quais as propriedades relevantes na pasta usada para produzir o referido papel.

O protocolo de trabalho laboratorial indicado no Anexo C com o título “Avaliação da influência do tipo de fibra nas propriedades do papel” permite aos estudantes avaliar o efeito da matéria-prima nas propriedades papeleiras de uma pasta, partindo para o efeito de fibras diferentes.

Capítulo 4 – Química do papel (6 horas)

A formação do papel passa pela ligação, em fase aquosa, das fibras entre si, das fibras com os finos e, para muitos tipos de papéis, também com as cargas minerais, usando-se para o efeito uma diversidade de aditivos, já referidos no Capítulo 1, como sejam os agentes de retenção, de colagem e de resistência. A composição da suspensão de fibras (o *furnish*) é portanto complexa, existindo assim uma multitude de interações químicas entre as diferentes “espécies” de tamanhos muito distintos, pelo que o Capítulo 4 se inicia com o estudo dos tipos de ligações químicas em *papermaking*, desde logo as pontes de hidrogénio, mas também as ligações de atração eletrostática, as forças de Van der Waals e ainda as ligações covalentes. Como os aditivos são de muito pequena dimensão (na maioria dos casos da ordem dos nanómetros), e com elevada área de superfície, formam sistemas coloidais, nos quais as interações ocorrem ao nível da superfície, sendo então necessário que os estudantes adquiram (ou recordem) conhecimentos no domínio da química coloidal. Por isso se fala de dispersões coloidais, da diferença de potencial à superfície das partículas, da dupla camada elétrica, do potencial zeta, da estabilidade das dispersões e da teoria de DLVO. Por outro lado, é importante também abordar a demanda catiónica de uma suspensão de fibras e o modo como é medida, tendo em conta que nesta existem muitas superfícies com carga negativa (as fibras, sobretudo devido aos grupos carboxilo ionizados (provenientes das hemiceluloses), mas também os finos e as cargas minerais) e que são usados polieletrólitos, normalmente de carga positiva para promover a floculação e também aumentar as resistências.

Segue-se então o estudo da floculação e retenção de cargas (e de finos), fundamental em *papermaking*, enumerando as interações que podem conduzir à formação de agregados e estudando com detalhe os mecanismos de floculação: neutralização de carga, floculação por ponte e floculação por mosaico, floculação complexa (estas nas suas diversas formas). Para o efeito, apresentam-se alguns agentes floculantes, designadamente polímeros solúveis em água, naturais e sintéticos, e micropartículas, e indicam-se quais as suas propriedades mais

importantes, bem como o modo como atuam enquanto aditivos de processo e os tipos de flocos formados. São referidos ainda a retenção mecânica e os fatores que afetam a retenção bem como as consequências de uma má retenção. Fala-se também de substâncias dissolvidas e coloidais, do chamado “lixo aniônico”, do “*pitch*” e da formação de espumas, bem como dos agentes químicos usados no controlo e remoção destas “impurezas” que tendem a inativar os aditivos de processo e funcionais. Mencionam-se ainda os biocidas e os inibidores de corrosão. A floculação tem como objetivo principal a retenção das cargas minerais, o que por sua vez favorece a drenabilidade da folha. Por isso referem-se os tipos de “águas” na matriz (livre e ligada), as zonas da máquina onde a água (livre) é removida por drenagem, fatores (que não a retenção) a afetar o escoamento da água (e.g., temperatura, ar) e ainda diferentes agentes auxiliares de drenagem que podem ser utilizados (alguns também como agentes de floculação, como a sílica coloidal).

Passa-se então para o estudo dos aditivos funcionais, alertando os estudantes para o facto de que em algumas situações a classificação de determinados aditivos em “funcionais” ou “de processo” não é simples, porquanto podem servir para melhorar tanto o processo quanto o produto. Começando pelas cargas minerais, enunciam-se as vantagens do uso de cargas e quais as principais características a ter em conta na seleção das cargas (e.g., forma, tamanho, propriedades ópticas,..). Com recurso a imagens são depois dados alguns exemplos de cargas, e indicadas as suas propriedades, como sejam caulino, talco, carbonato de cálcio (natural ou precipitado) e ainda dióxido de titânio e gesso. Os efeitos das cargas nas propriedades do papel, temática bastante estudada pelo autor no âmbito da sua atividade de investigação, têm necessariamente de ser analisados, e neste contexto fala-se ainda das cargas modificadas. Por fim são referidos valores do conteúdo de cargas para diferentes tipos de papel.

O tópico seguinte é o da colagem interna do papel como operação que visa a diminuição da hidrofiliabilidade das fibras. Para isso, é agora oportuno estudar a penetração de líquidos numa matriz, apresentando as equações de Darcy, de Young-Laplace e de Lucas-Washburn. Faz também sentido, nesta fase, abordar (ou recordar) conceitos relacionados com a molhagem de uma superfície, tais como energia de superfície (componente polar e dispersiva), tensão superficial de um líquido, trabalho de adesão e ângulo de contato, apresentando-se ainda a equação de Young-Dupré e o método OWRK. Definem-se então as características e os requisitos gerais de um agente de colagem interna. Dada a complexidade das reações químicas envolvidas e porque a maioria dos processos atuais de *papermaking* ocorrem em meio alcalino, centra-se o estudo nos agentes usados nestas condições de pH: AKD (dímero de alquil ceteno) e ASA (anidrido alquenil succínico). Detalham-se, para ambos, as propriedades principais, as vantagens, e as reações e mecanismos de ligação que ocorrem durante a

colagem. É também feita breve alusão à reversão da colagem, à colagem em meio ácido e aos fatores que afetam a colagem.

Aos estudantes são ainda apresentados como aditivos funcionais os de resistência em seco, que se usam com o objetivo de melhorar a área e o número de ligações, complementando a ação da refinação (e também da prensagem e secagem) e aumentando assim as resistências mecânicas do papel, no plano e na direção Z: são polímeros hidrofílicos e solúveis em água, naturais ou sintéticos, como o amido ou a carboximetilcelulose, e também as poliacrilamidas de baixo peso molecular ou o álcool polivinílico, entre outros. Como o amido é o aditivo mais utilizado (também porque funciona como agente de retenção e de colagem da superfície ou ligante das formulações de revestimento) estuda-se mais em detalhe a sua estrutura, as propriedades que possui consoante as diferentes fontes de amido, o “cozimento” do amido (necessário para se obter uma solução) e as modificações químicas e reológicas a que pode ser sujeito. Em particular fala-se da cationização e da conversão enzimática para obter amido para a resistência a seco ou para a colagem de superfície e revestimento, respetivamente. De seguida, indicam-se alguns fatores do processo que afetam a eficiência do amido. Do mesmo modo que se usam aditivos para melhorar a resistência do papel a seco, também se podem usar, para determinados tipos de papel (e.g., toalhetes, papel de filtro), polímeros que garantem que, após molhagem, o papel mantém entre 10 a 30% da sua resistência a seco. Referem-se assim as resinas usadas em meio neutro e alcalino mas também em meio ácido .

No Capítulo 4 estudam-se também os corantes e os branqueadores óticos (OBA e FBA). Partindo do conceito de “perceção da cor”, fala-se dos corantes básicos, ácidos, diretos e de pigmento, bem como dos veículos usados, e ainda dos derivados do estilbeno que estão na base dos OBA. Por último, apontam-se alguns fatores que influenciam a cor do papel, como as cargas, o grau de refinação ou o tipo de aditivos.

A concluir o Capítulo 4 são indicados os pontos do processo onde são introduzidos os aditivos. São ainda enumerados os parâmetros usados em fábrica para o controlo da química da parte húmida e da estabilidade do processo ao longo da máquina de papel, como por exemplo a demanda cationica, a condutividade, a retenção, a drenagem e alguns parâmetros das “águas brancas” (e.g., dureza, carência química de oxigénio).

Ao longo de todo o Capítulo 4 é necessário recorrer a conhecimentos de reologia para explicar o comportamento da mistura de fibras e aditivos, assumindo-se que os estudantes já os têm adquiridos em outras unidades curriculares.

Para melhor perceção do efeito dos diferentes aditivos, são disponibilizados aos estudantes os trabalhos de laboratório dos protocolos “Avaliação da influência de agentes de retenção na drenabilidade, na retenção de cargas e nas propriedades do papel” e “Avaliação da influência

de agentes de colagem interna e de resistência na retenção de cargas e nas propriedades do papel”, indicados no Anexo C.

Capítulo 5 – Física e propriedades do papel (6 horas)

Para melhor compreender as propriedades do papel, os mecanismos de formação e secagem e o efeito destas operações nas referidas propriedades, é fundamental abordar alguns conceitos da chamada “física do papel”, ainda que não muito aprofundadamente tendo em conta os objetivos gerais da unidade curricular.

Assim, primeiro analisa-se o papel como uma estrutura de geometria bidimensional, definindo o “índice de cobertura” (*coverage*) e apresentando-se a teoria de Corte-Kallmes. De seguida considera-se a geometria tridimensional, os modelos de estrutura multi-camadas, “feltrada” e mista, e a natureza porosa da matriz. Explica-se o conceito de *Área de Ligação Relativa (RBA)* e as formas de a calcular, antes de falar dos tipos de ligação entre as fibras (quer de natureza química (já referidos no Capítulo 4) quer por entrelaçamento), bem como da energia, do comprimento e da força das ligações, e ainda do desenvolvimento das ligações e das forças de Campbell. Passa-se depois para a definição de formação do papel, parâmetros associados (variabilidade da gramagem, índice de formação) e métodos de medição, alertando os estudantes para a diferença entre formação enquanto propriedade da folha e formação enquanto operação de produção de papel (esta só estudada no capítulo 7). Relaciona-se a formação com a floculação, com o *Crowding Factor* e com a orientação das fibras. No âmbito deste último conceito fala-se da anisotropia do papel no plano (direções máquina (MD) e transversal (CD)) e na direção Z, apresentando-se alguns índices de orientação das fibras. Um outro tópico a considerar no âmbito da “física do papel” é o da estabilidade dimensional, associado ao teor de água no papel e à sua variação com a humidade relativa do meio. Aborda-se então a interação entre as fibras e a água, recordando os conceitos de água livre e água ligada, e define-se o *Índice de Retenção de Água (WRV)* e a forma de o determinar, bem como o *Ponto de Saturação das Fibras*. Estuda-se de seguida a relação entre a humidade relativa do ar e o teor de água no papel, apresentando algumas correlações empíricas e isotérmicas de adsorção e falando da histerese e a hornificação do papel. Indicam-se ainda os fatores que afetam a estabilidade dimensional.

A variação do teor de água (e a remoção dos vários tipos de água) no papel é depois relacionada com as sucessivas etapas da formação da folha ao longo da máquina e com a variação da secção transversal das fibras. Apresenta-se também o índice de higroexpansividade e a forma de o quantificar, bem como a sua dependência relativamente ao tipo de secagem do papel (livre ou controlada), à composição do *furnish* e a operações como a

colagem do papel. Relaciona-se depois a estabilidade dimensional com parâmetros como o “encanoamento” (*curl*) do papel, nas direções longitudinal, transversal e diagonal, e o *cockling*, indicando métodos de medida de ambos e ainda outros fatores que os afetam (distribuição de cargas, má formação localizada, orientação das fibras....). Por fim, é feita uma breve referência ao papel como um material viscoelástico, consequência da presença de compostos amorfos na parede das fibras (lenhina residual e hemiceluloses), exemplificando este comportamento com algumas curvas de tração/alongamento e tração/velocidade de corte.

A segunda parte do Capítulo 5 versa o estudo das propriedades gerais do papel, excluindo os casos particular dos papéis *tissue* e do cartão, que são considerados no Capítulo 10. Em função dos conhecimentos já adquiridos, os estudantes são chamados a participar indicando alguns parâmetros que influem nas propriedades finais do papel (e.g., refinação, formação, teor de cargas,...). É feita uma menção, breve porque já estudadas no Capítulo 3, às propriedades usadas para avaliação da qualidade das pastas e que são também propriedades do produto final. O enfoque é agora em outras propriedades que são exclusivamente avaliadas no produto final, destacando-se para cada uma a sua relevância, quais os equipamentos/técnicas utilizados para a sua medição e quais as normas aplicáveis.

Assim, no caso das propriedades estruturais, além do teor de água, da formação, da orientação das fibras e da estabilidade dimensional, já referidos, estuda-se a porosidade (superficial e interna) e a distribuição de material na direção Z (cargas, finos, colas). Quanto às propriedades estruturais da superfície do papel, considera-se a lisura/rugosidade (ótica, micro e macro) e o atrito do papel. Já no caso das propriedades óticas estuda-se mais em detalhe a interação da luz com a matriz, os conceitos de refletância, brilho, brancura (*brightness*) e alvura (*whiteness*), os coeficientes de Kubelka-Munk para quantificar a dispersão e a absorção de luz, e a descrição numérica da cor (colorimetria), apresentando as cores primárias e básicas, os parâmetros tristímulo (X, Y e Z), as coordenadas cromáticas L^* , a^* e b^* , a tonalidade, a saturação e a luminosidade, e finalmente o espaço gamut. Adicionalmente às propriedades fundamentais de resistência mecânica apresentadas no Capítulo 3 analisam-se as resistências à tração a húmido, às duplas dobras, ao encurvamento e ainda a resistência da superfície. No que diz respeito às propriedades de absorção, importantes nos papéis *tissue* mas também nos de impressão e escrita, e uma vez que no Capítulo 4 já se analisaram os fundamentos da molhagem e da penetração de líquidos, consideram-se agora apenas os métodos usados para medir a capacidade de um papel absorver água, óleos (de diferente viscosidade) e tintas, designadamente a capilaridade Klemm, os testes Cobb e Cobb-Unger, a medição do ângulo de contacto (estático e dinâmico) e ainda o ensaio no *PDA – Penetration Dynamic Analyzer*. Definem-se parâmetros como a velocidade de molhagem e as percentagens de absorção e de espalhamento. Seguidamente são elencadas propriedades que não sendo consideradas entre

as mais relevantes têm ainda assim uma influência determinante em processos de secagem, de impressão e cópia, e em aplicações especiais, como seja nos papéis térmicos e nos usados para fins elétricos: são as propriedades térmicas (condutividade, calor específico, difusividade, expansão térmica, temperatura de ignição) e as propriedades elétricas (condutividade, eletricidade estática, rigidez dielétrica). No que diz respeito às chamadas propriedades químicas, fala-se da composição do papel (na matriz e à superfície), no teor de água e de cargas (cinzas), e ainda na energia e no carácter ácido-base da superfície.

Ao longo da apresentação das várias propriedades do papel, será solicitado aos estudantes que, para algumas delas (e.g., óticas, de resistência ou de absorção), estabeleçam uma relação com a estrutura do papel, nomeadamente com a densidade e porosidade.

A concluir o Capítulo 5 destacam-se as propriedades de uso final dos papéis de impressão e escrita, por estes serem, no contexto da indústria papelreira nacional, os mais importantes. Assim, tendo em conta a utilização final deste tipo de papéis, referir-se-ão, no conjunto das propriedades anteriormente estudadas, as associadas à *runnability* do papel (a facilidade com que o papel passa pelo processo de impressão sem causar perturbações e paragens) e as associadas à “imprimabilidade” do papel (a capacidade para reproduzir imagens com qualidade e uniformidade aceitáveis). É feita ainda alusão às propriedades de alguns papéis especiais (para além dos acima indicados), tais como papel de filtro, autocopiativo, laminado para decoração, de cigarro ou de segurança. Definem-se depois algumas propriedades de impressão, como a densidade ótica, a área e o volume *gamut*, o *print-through* e o *show-through*, entre outras relacionadas com a qualidade da mancha impressa, da linha e do ponto.

Nesta fase do programa, é distribuída aos estudantes uma folha com exercícios teórico-práticos propostos (Anexo D), envolvendo, entre outros, alguns cálculos e questões em torno de conceitos relacionados com a matéria-prima (e.g., biometria das fibras), com o potencial papelreiro das pastas (e.g., seleção de pastas em função do produto), com a química do papel (e.g., doseamento de um *furnish*) e com a física do papel (e.g., modelos e propriedades do papel).

Capítulo 6 – Preparação das pastas (3 horas)

Após os conceitos de natureza mais teórica abordados nos capítulos anteriores, os estudantes começam agora a contactar mais intensamente com os aspetos de carácter tecnológico da unidade curricular, que envolvem o processo, as operações e os equipamentos. Assim, no Capítulo 6 estuda-se a preparação das pastas e os circuitos de aproximação à máquina de papel, mas apenas para o caso das fibras virgens, dado que no Capítulo 11 serão consideradas as particularidades das fibras recicladas. Em concreto, analisam-se o conjunto de

operações (unitárias) necessárias para a obtenção de uma mistura de fibras (da mesma pasta ou de pastas diferentes) com aptidão para dar origem, em condições ótimas, a uma folha de papel (ou cartão) cujas características sejam as melhores possíveis tendo em conta o uso final do produto. No que respeita à preparação das pastas, fala-se de operações como a desintegração, a regulação da consistência, a refinação, a mistura de pastas (quando aplicável), e ainda o espessamento da pasta e das quebras bem como a recuperação de sólidos das águas. Já no que concerne a aproximação, ter-se-á em conta a depuração, o desarejamento, a crivagem e o doseamento dos diversos aditivos (como cargas, agentes de colagem interna, floculantes, amido, biocidas, corantes e branqueadores, já referidos no Capítulo 4). Para cada uma das operações, os estudantes ficam a saber em que consiste, qual o objetivo e importância, como se processa, qual ou quais os equipamentos utilizados e quais as respetivas condições de operação, indicando as vantagens e desvantagens. A exposição é suportada na análise de fluxogramas do processo. Embora ao estudar o potencial papelero das pastas, no Capítulo 3, os estudantes tenham ficado a saber o que é a refinação e quais os seus efeitos nas fibras, é agora que esta operação é analisada com maior profundidade, dada a sua relevância para a definição das propriedades finais do papel, em especial no caso das pastas químicas. Assim, recordam-se o mecanismo da refinação e o seu efeito no desenvolvimento das propriedades papeleras das pastas, enunciam-se os efeitos no processo e apresentam-se as variáveis que afetam a refinação, designadamente as características da matéria-prima, as condições do processo (e.g, consistência da pasta, pH ou presença de aditivos), os parâmetros da refinação (e.g., energia e quantidade de impactos, número de estágios), ou as características do refinador (e.g., tipos de refinadores, geometria das guarnições). Faz-se ainda uma abordagem teórica da refinação, através da teoria da carga específica de bordo, da teoria da carga específica de superfície e da teoria do *fator C*. Toda a exposição será ilustrada com imagens de fibras antes e após refinação, imagens de refinadores, esquemas e gráficos. Nesta fase, refere-se o ensaio do *Dynamic Drainage Analyzer* (DDA), com o qual é possível antecipar o efeito dos processos da preparação da pasta e dos aditivos no comportamento do *furnish* em termos de drenabilidade na máquina (e também de formação de flocos),

A consolidação dos tópicos abordados no Capítulo 6 passa pela realização em laboratório do trabalho do Protocolo referido no Anexo C com o título “Avaliação da influência do grau de refinação na drenabilidade e nas propriedades do papel”.

Capítulo 7 – Máquina de papel: parte húmida (3 horas)

Estudadas as sucessivas etapas de preparação da pasta, o programa da unidade curricular contempla no Capítulo 7 o estudo da formação da folha. Para o efeito, começa por se recordar alguns aspetos da física do papel já abordados no Capítulo 5, tais como os tipos de estrutura fibrosa e de ligações possíveis na folha, e também os métodos de avaliação da formação do papel. Apresentam-se todas as secções da máquina de papel, bem como a evolução do grau de secura do papel e da percentagem de água removida, para centrar depois a atenção na parte húmida da máquina, concretamente na caixa de chegada, no formador e na secção de prensas. Refere-se a necessidade de operar com suspensões muito diluídas à entrada da máquina, a fim de minimizar os problemas de floculação das fibras e conseqüente má formação da folha. Dá-se também ênfase ao *design*, seleção e condições de operação das máquinas de papel em função do tipo de produto a obter.

No que diz respeito à caixa de chegada, indicam-se as principais funções e os requisitos de projeto, dão-se exemplos de alguns tipos de caixas (clássicas, hidráulicas, multicamadas e mesmo as de alta consistência), enquadrando na sua evolução ao longo do tempo, e analisam-se alguns efeitos gerais na qualidade do papel. Aborda-se de seguida a distribuição do caudal de pasta na direção CD, baseando a explicação na Equação de Bernoulli, e estuda-se a relação velocidade da teia (no formador) / velocidade do jato e a sua influência, bem como a do ângulo do jato, na orientação das fibras e na homogeneidade da formação. Esta análise é importante tendo em conta o impacto, que se analisa de seguida, da orientação das fibras em parâmetros de *runnability* na máquina, como a resistência à tração em húmido ou o perfil transversal de tração, e em propriedades do produto final, como as resistências mecânicas, o *curl* e o *cockling*, que os estudantes já conhecem. Fala-se ainda na variação da gramagem na direção CD, referindo as caixas com controlo de diluição, e no impacto deste controlo no perfil CD de orientação das fibras. Outros elementos associados à caixa de chegada, como os amortecedores de pulsações para diminuir oscilações de pressão, e os que introduzam turbulência para minimizar a floculação, são também apresentados.

Relativamente aos formadores, descreve-se a sua função e apresenta-se aos estudantes a evolução dos formadores ao longo do tempo, numa perspetiva de máquinas mais rápidas, mais largas e melhores. A atenção é depois focada nos mecanismos de formação (ligação entre fibras, não só a baixa mas também a alta consistência), nos requisitos gerais de projeto, nos tipos mais comuns de formadores (*Fourdrinier*, Híbrido, *Gap-formers* e variantes), e na configuração, componentes, características e limitações de cada um, indicando as principais diferenças entre eles. Avaliam-se, em função do tipo de formador, os efeitos da formação na porosidade da folha, na sua resistência interna, na distribuição de cargas e na variação da orientação das fibras na direção Z, na dupla-face, no *curl* e no *cockling*. É o momento então de

sistematizar a informação elencando variáveis que afetam a formação, relacionadas com as características do *furnish*, da caixa de chegada e dos formadores. Termina-se o estudo dos formadores com exemplos de algumas máquinas de papel, indicando especificações estruturais, dimensionais e de operação, e com uma breve referência à importância das teias, tipos de teias, composição e estrutura, capacidade de drenagem e estabilidade.

Quanto à secção das prensas, estudam-se os fundamentos da operação de prensagem e alui-se de forma breve à evolução histórica, desde as prensas planas, de sapata e de *nip*, destacando as suas diferenças. Identificam-se as variáveis de processo (pressão, tempo de residência na zona de carga (~~no *nip*~~), temperatura, teor de água à entrada e estrutura da folha), e as variáveis relacionadas com o equipamento (tipo de *nip*, características dos rolos e dos feltros e configuração de toda a secção de prensas); indicam-se os efeitos da prensagem na drenagem, no perfil transversal de humidade, na densificação da folha (com gradientes de gramagem na direção Z), e, por esta via, em propriedades finais como a topografia, a dupla-face da folha, a lisura, a porosidade, a compressibilidade, as resistências à tração (no plano, em Z e à superfície), a rigidez, o brilho e a opacidade. A concluir, apresentam-se exemplos de configurações da secção de prensas para o caso dos papéis de impressão e escrita, e recordam-se os aditivos do processo usados na parte húmida.

A folha com exercícios teórico-práticos propostos (Anexo D), inclui também questões com cálculos associados à preparação da pasta e à formação da folha.

Capítulo 8 – Máquina de papel: secagem (4 horas)

Um dos capítulos do programa da unidade curricular que mais faz apelo à aplicação e integração de conhecimentos adquiridos pelos estudantes em anos anteriores é o que se dedica ao estudo da secagem da folha de papel e da zona da “secaria” da máquina, na medida em que a compreensão adequada do processo recorre a conceitos de transferência de massa e de calor e a balanços de massa e de energia. Embora os princípios da secagem, estudados neste capítulo, sejam comuns a todos os tipos de papéis, já os métodos de secagem e os equipamentos o não são, considerando-se agora no Capítulo 8 apenas os papéis de impressão e escrita e remetendo-se para o Capítulo 10 as especificidades de secagem do papel de embalagem e, sobretudo, do papel *tissue*.

No início, são referidos os requisitos básicos da secagem: máxima capacidade de evaporação por unidade de secagem, homogeneidade transversal de evaporação para controlar os perfis CD de humidade, boa *runnability* da máquina e otimização do consumo de energia. Apresenta-se sumariamente os vários métodos de secagem (e.g., multi-cilindros, injeção de ar quente, radiação) e os produtos ou tratamentos a que mais se adequam, e enunciam-se os parâmetros

que afetam a quantidade de água evaporada, tais como o teor de secura da folha à saída das prensas ou a velocidade da máquina. Recordam-se depois alguns conceitos fundamentais como consistência, teor de humidade (tal qual e em base seca), teor de sólidos, velocidade e fluxo de evaporação, humidade relativa, pressão parcial de vapor (Equação de Antoine), entalpia e calor específico do ar húmido. Analisando a evolução do teor de secura, da velocidade de secagem e da temperatura da folha com o tempo de secagem, identificam-se as fases do processo de secagem. Para o cálculo do fluxo de água evaporada apresentam-se o diagrama de Mollier (modificado) e também as equações de Stefan e de Lewis. Apresentam-se ainda as equações para o cálculo da quantidade de calor transferido tendo em conta o mecanismo associado (condução, convecção e radiação) e aborda-se a transferência simultânea de calor e de massa. Finalmente, concluindo os aspetos relacionados com a teoria da secagem do papel, analisa-se a influência da estrutura da folha no processo de secagem (bem como o recíproco), falando do fluxo capilar de água livre (o que permite relembrar a Equação de Darcy), do fluxo de água ligada e do fluxo de vapor de água através da folha.

Passando para os aspetos relacionados com a tecnologia da secagem, dão-se exemplos de dimensões da máquina e fala-se das secções da pré e da pós-secaria. Para alguns tipos de processos de secagem (multi-cilindros, injeção de ar quente, *Condebelt*, rampas de infravermelhos, secagem por impacto e secagem com vapor sobreaquecido), especificam-se os mecanismos associados, os meios de transferência de calor, o princípio de operação do equipamento, e as vantagens e desvantagens de cada um.

Sendo a secagem multi-cilindros a mais utilizada para papéis de impressão e escrita, detalham-se alguns pormenores do processo, como sejam: os principais componentes; os sistemas de fileira única e de fileira dupla (*single-tear* e *double-tear*, respetivamente); os perfis de temperatura e velocidade de secagem entre cilindros; os componentes de um cilindro secador; os mecanismos de transferência de calor num cilindro; o coeficiente global de transferência de calor e a variação periódica da temperatura à superfície de um cilindro. São também indicados alguns fatores que influenciam a transferência de calor e a velocidade de evaporação (filme de condensado, temperatura interior, tensão da tela, humidade e tipo de papel, rugosidade das superfícies, condutividade térmica do papel ou pressão do vapor de aquecimento). Analisam-se depois as equações para o cálculo da energia térmica associada aos diferentes pontos de uma secaria (aquecimento do ar, aquecimento da folha, evaporação da água,...) e indicam-se valores típicos de consumos de energia.

Segue-se uma breve referência ao método de secagem por injeção de ar quente, apresentando os principais parâmetros do processo, as correlações empíricas para o cálculo dos coeficientes de transferência de calor, o modo de calcular o fluxo de calor e alguns fatores que o afetam. Referem-se os sistemas de injeção direta e de injeção indireta e os consumos de energia.

Concluído o estudo dos fundamentos da secagem e dos métodos de secagem por multi-cilindros e por injeção de ar, passa-se para os sistemas auxiliares de uma secaria, designadamente os sistemas de vapor e condensados e os de ventilação e recuperação de calor. Nos primeiros, apresentam-se os critérios de projeto, o equipamento associado e os dois sistemas básicos: o de cascata e o de turbocompressor. Abordam-se os princípios gerais de operação, com especial detalhe para a extração de condensados. Já nos sistemas de ventilação e recuperação de calor, mostra-se o *layout* típico e fala-se da “capota”, e dos sistemas de insuflação e de distribuição de ar, nomeadamente das bolsas de ventilação. De seguida, apresenta-se o *layout* correspondente à remoção de ar húmido e recuperação de calor e define-se o nível de pressão zero na capota e no edifício. Finalmente, indicam-se outros elementos relacionados com a *runnability* da secaria, como por exemplo a caixa estabilizadora.

Em complemento ao estudo da física do papel, no Capítulo 5, aborda-se agora a influência da secagem na contração transversal do papel e a sua evolução com o grau de secura, bem como o efeito da secagem na variação transversal de propriedades como a espessura, a formação, a porosidade, a rugosidade, a opacidade e as resistências mecânicas. É também feita uma breve referência à importância das telas.

A concluir o Capítulo 8 os estudantes são chamados a resolver problemas de balanços de massa e de energia, constantes da folha de exercícios teórico-práticos propostos (Anexo D), a qual também inclui questões relativas à preparação da pasta e à formação. Em particular, são-lhes propostos dois trabalhos: *i)* para resolução individual, um balanço à água e aos sólidos para determinadas condições de operação de uma máquina de papel; *ii)* para resolução em grupo, fora das horas de contacto, um balanço de energia, baseado no diagrama de Sankey, para determinar o número de cilindros secadores necessários numa secaria multi-cilindros. Os conhecimentos adquiridos permitirão aos estudantes efetuar balanços mais complexos, envolvendo toda a máquina de papel (zona húmida e secaria), eventualmente propostos na unidade curricular de projeto de processo.

Capítulo 9 – Colagem de superfície, revestimento e acabamento (4 horas)

Depois da formação e secagem (total ou parcial) da folha, e antes do acabamento, esta pode ser sujeita a tratamentos de superfície, como a colagem e o revestimento, com objetivos distintos e variando de acordo com o tipo de produto papeleiro. O Capítulo 9 foca-se nos fundamentos e tecnologia destas operações, tomando por base os papéis de impressão e escrita, enquanto o caso dos papéis de embalagem é remetido para o Capítulo 10.

Depois de definido o *pick-up* (quantidade de material aplicada, g/m²/face), passa-se para o estudo da colagem de superfície, estabelecendo uma analogia com a colagem interna e

enunciando os objetivos da operação: tornar a superfície do papel moderadamente hidrofóbica, aumentar a resistência da superfície e a lisura, reduzir o empoeiramento e melhorar as propriedades de impressão (se for o caso), através da aplicação de uma fina camada de formulação de colagem (de até cerca de $2 \text{ g/m}^2/\text{face}$), que não reveste a totalidade da superfície e forma uma matriz reticular. Referem-se de seguida alguns agentes de colagem: suspensões aquosas de amido ou de uma mistura de amido com um polímero sintético, sendo exemplos os poliestirenos e poliuretanos. Os estudantes são chamados então a indicar, face aos conhecimentos já adquiridos, alguns parâmetros que julgam poder influenciar o processo e a eficácia da colagem de superfície, relacionados quer com o papel base quer com a formulação. Espera-se que variáveis como a humidade, gramagem, lisura, porosidade e colagem interna do papel base, e a composição, teor de sólidos, viscosidade, pH e temperatura da formulação sejam enumerados. São apresentados de seguida os equipamentos mais usados para a colagem, as prensas de colagem (*pond size press* e *film size press* ou prensa de filme), que separam as secções da pré e da pós-secaria, e os processos de controlo do *pick-up*, por exemplo com lâmina. Indicam-se ainda outros químicos que podem ser adicionados nesta secção, como corantes e OBA.

Passa-se depois para o estudo do revestimento do papel, operação que tanto pode ser integrada na máquina de papel como executada em equipamento à parte (*online* e *offline*, respetivamente), enumerando os seus objetivos: conferir à superfície do papel maior uniformidade, lisura, brancura, brilho e resistência superficial e melhorar as propriedades topoquímicas e as propriedades de impressão. Refere-se também o efeito negativo do revestimento nas propriedades de resistência mecânica do papel base. É então feita uma comparação entre colagem superficial e revestimento, que muitas vezes se distinguem apenas pela quantidade de material aplicado (maior no caso do revestimento) porquanto os agentes químicos usados em alguns casos servem em simultâneo os objetivos de ambas as operações. Enumeram-se os diferentes componentes de uma formulação de revestimento, antes de passar a um estudo mais detalhado de cada tipo: pigmentos, ligantes, co-ligantes, espessantes, dispersantes e ainda outros aditivos usados em muito menor quantidade na formulação, como anti-espumas, biocidas, insolubilizantes ou branqueadores óticos. Para cada tipo de componente, indica-se a respetiva função, os requisitos a que deve obedecer e as propriedades mais relevantes. Dão-se exemplos de alguns pigmentos, minerais e sintéticos, orgânicos e inorgânicos, e de alguns ligantes, solúveis e insolúveis, comparando-se a respetiva capacidade ligante. Igualmente se indicam alguns co-ligantes, espessantes e dispersantes. Tal como no caso da colagem de superfície, analisam-se também os parâmetros que afetam a qualidade do revestimento, quer os relacionados com o papel base (e.g., porosidade), quer os relacionados com a formulação (e.g., composição, viscosidade) ou ainda com o próprio

processo/tecnologia de revestimento. Faz sentido então estudar aspetos relacionados com a preparação das formulações de revestimento, como sejam as quantidades de cada componente (indicando-se valores críticos da concentração de pigmento), a adequada dispersão dos pigmentos, a mistura e sequência de adição dos constituintes ou a reologia das suspensões (com exemplos de curvas de tensão de corte e de viscosidade em função de velocidade de corte). Do ponto de vista do processo fala-se da aplicação numa face, nas duas faces, em simultâneo ou sequencialmente, em mono e em multicamada, dando-se valores típicos para papéis *light weight* e *medium weight coated*, e ainda *double* e *triple coated*. É igualmente importante falar das técnicas de revestimento, desde o revestimento por *spray*, por jato, por imersão ou por extrusão, entre outros, ao mais comum revestimento por rolos, em prensas de revestimento, nas quais o controlo do *pick-up* é feito com recurso a lâminas metálicas flexíveis, rolos/hastes (*rods*), ou lâminas de ar. Por fim indicam-se os processos de secagem do revestimento, com infravermelhos, com ar quente ou em cilindros secadores, e a medição em linha das propriedades críticas (lisura, brilho, brancura).

Tanto para a colagem de superfície quanto para o revestimento avançam-se, de forma breve, possíveis mecanismos de interação entre os diferentes componentes da formulação e de consolidação do tratamento efetuado, recordando os fundamentos da molhagem e da penetração de líquidos já estudados no Capítulo 4. Dada a complexidade da interação entre todos os parâmetros, os estudantes são alertados para a importância do estudo da topoquímica e da rugosidade do papel, referindo-se para o efeito as técnicas de medição do ângulo de contacto, espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier, cromatografia gasosa de fase inversa e perfilometria ótica. Neste contexto, são apresentados e discutidos resultados da aplicação destas técnicas a papéis com diferentes tratamentos de superfície, resultados esses decorrentes da atividade de investigação desenvolvida pelo autor desde há alguns anos.

Tendo em conta a relevância para a indústria nacional dos papéis finos de impressão e escrita, nesta fase, e caso haja tempo, é feito um breve estudo da avaliação da qualidade de impressão *inkjet* e *offset*, indicando os parâmetros mais relevantes (e.g., densidade ótica, e volume Gamut) e mais uma vez ilustrando a exposição com resultados de impressões em papéis sem e com diferentes revestimentos.

Após os tratamentos de superfície, passa-se para o estudo da secção de acabamento de uma máquina convencional de papel de impressão e escrita, começando pela calandragem, relativamente à qual se referem os objetivos, as propriedades do papel que são afetadas por esta operação, os tipos de calandras e sua evolução, e os materiais de que são feitas. Aborda-se depois o enrolamento do papel calandrado, i.e., a formação de grandes rolos (*jumbo*) no final da máquina, falando dos tipos de enroladores e dos parâmetros mais importantes nesta

etapa. A concluir, indicam-se aos estudantes as operações de redução da dimensão do papel, na transformação, que convertem cada jumbo em rolos de menor dimensão (bobinas), nas bobinadoras e rebobinadoras, e eventualmente depois em folhas de papel, nas cortadeiras, antes das etapas de embalagem e paletização. O conjunto de etapas do acabamento, de natureza puramente mecânica, são devidamente ilustrados aquando da visita às unidades fabris.

No final do capítulo é feita uma breve menção a formulações de revestimento não convencionais (e.g., com micro e nanoceluloses ou com pigmentos funcionalizados), que visam novas aplicações / propriedades do produto final (e.g., funções antibacterianas, de catalisador, de sonda, de suporte para impressão em eletrónica) e eventualmente recorrendo a novos processos de revestimento, de momento usados ainda apenas à escala laboratorial (e.g., pulverização catódica, deposição de vapor).

Ciente da complexidade dos tratamentos de superfície, dada a multiplicidade de fatores envolvidos, entende o autor facultar aos estudantes a realização de um trabalho de laboratório onde apliquem diferentes revestimentos num papel base e analisem o seu efeito nas propriedades da superfície do papel. Para tal, seguirão o protocolo do trabalho “Avaliação de tratamentos de superfície de papéis de escritório na rugosidade, na topoquímica do papel e nas propriedades de impressão do papel”, indicado no Anexo C.

Capítulo 10 – Papéis *tissue* e papéis e cartões para embalagem (4 horas)

Tendo os conceitos fundamentais do processo de produção de papel sido transmitidos em aulas anteriores, suportados no caso dos papéis de impressão e escrita, os estudantes adquirem agora conhecimentos relacionados com as especificidades de outras duas *commodities* – os papéis ditos *tissue* e os papéis e cartões de embalagem. Em particular são considerados os aspetos que, ao nível das propriedades e do processo, os distinguem dos papéis de impressão e escrita. Desde logo, os estudantes são alertados para a existência de uma grande diversidade de produtos classificados como *tissue* ou de embalagem, em função dos inúmeros usos finais que podem ter.

A primeira parte do capítulo dedica-se aos *tissue*, que podem ser distinguidos entre os usados para fins sanitários e higiénicos e os usados para fins domésticos e industriais, sendo todos normalmente leves, finos, suaves ao tacto, de baixa gramagem (usualmente inferior a 30 g/m²) e, salvo algumas exceções, produtos em que a absorção é uma propriedade relevante. Outras classificações são fornecidas aos estudantes, designadamente as que separam os produtos em *AtH* (de uso *at home*) e *AFH* (usados *away from home*), ou em vendidos em rolo (papel higiénico, rolos de cozinha, papeis de limpeza doméstica e industrial) ou vendidos/estruturados

em folhas (guardanapos, toalhas de mesa, lenços de assoar e faciais, toalhetes (secos e húmidos), papéis para uso hospitalar, fraldas descartáveis, filtros ...). Apresentam-se também quotas de mercado dos vários tipos de produto *tissue* e o consumo *per capita* em diferentes países.

Elencam-se de seguida as propriedades gerais consideradas importantes, quer as que se podem quantificar, como absorção, gramagem, espessura / volume específico (*bulk*), resistência à tração (a seco e a húmido, e nas direções MD e CD), alongamento à tração e brancura, quer outras não diretamente mensuráveis, sensoriais, como o aspeto ou o odor. Para as primeiras referem-se / recordam-se os testes comumente utilizados e as normas aplicáveis. Com detalhe, fala-se na suavidade, uma propriedade relevante mas de difícil definição e medida. Os estudantes são alertados para o facto de que a relevância de cada uma depende naturalmente do tipo de produto e de que o compromisso ideal entre elas é muitas vezes difícil. Neste contexto, e para os produtos de maior consumo, tais como papel higiénico, rolos de cozinha, guardanapos, toalhas e lenços são indicadas as propriedades críticas e os valores típicos de gramagem. Apresentam-se depois os parâmetros técnico-comerciais que identificam um produto, como por exemplo número de camadas numa folha, métodos de ligação entre camadas (gofragem ou colagem), dimensões da folha e ainda, no caso dos produtos em rolo, dimensões do rolo e comprimento total da folha.

Parte importante da lição dedica-se às especificidades do processo de produção dos papéis *tissue*. Referem-se os inúmeros tipos de matéria-prima (de entre fibras virgens, recicladas, misturas, e fibras curtas e longas), comparando-se vantagens e desvantagens em função das características das fibras e dos requisitos do processo e do produto final. Quanto aos aditivos funcionais, fala-se dos agentes de resistência em seco e em húmido, dos branqueadores óticos e corantes, e ainda das colas, sejam as usadas para unir várias camadas de uma folha, sejam, no caso dos rolos, as de “arranque”, para fixar o papel ao rolo, e as de “fecho”, para fixar a última folha ao rolo. Já nos aditivos de processo, referem-se os usados para reter fibras curtas, para controlar o *pitch* e a formação de espumas, para proteger a superfície metálica do cilindro secador e, muito importante, os usados para facilitar a adesão da folha ao cilindro e para auxiliar a crepagem e a separação da folha sem rutura da mesma.

No que diz respeito ao processo de produção, apresenta-se um esquema simplificado do mesmo, com as etapas que os estudantes já conhecem de preparação da pasta, máquina de papel e transformação, e um esquema dos circuitos de preparação e aproximação da pasta, em parte semelhantes aos já abordados no Capítulo 6. Os estudantes são alertados para a grande diversidade de configurações quer da máquina quer da secção de transformação, consonante com a já aludida grande diversidade de produtos, e para o facto de que a máquina de papel *tissue* é significativamente mais pequena do que a de outros tipos de papel, tendo

como elementos distintivos um único cilindro secador e uma etapa muito importante: a de crepagem. Por esta razão, fala-se de seguida da máquina de papel, começando pela caixa de chegada, cuja estrutura pode permitir a formação de folhas com várias camadas, de modo a misturar diferentes tipos de fibras. Refere-se depois a formação, determinante para o controlo da absorção, porosidade e suavidade da folha, que pode ser em formador *Fourdrinier*, em mesa inclinada, com dupla teia ou no chamado *Crescent former*, especialmente desenhado para induzir maior suavidade na folha. Indicam-se os vários tipos de prensas, de um ou de dois rolos, de sapata e de rolo de sucção, atuando em contacto com a zona húmida do cilindro secador. A secagem, por contacto com um único cilindro e por insuflação de ar quente, é estudada com maior detalhe: mostra-se o cilindro *Yankee*, de grandes dimensões (6 a 7 m de diâmetro), aquecido a vapor e com uma superfície a cerca de 100°C, o qual, além da prensagem da folha e do seu transporte, assegura a perda de água e serve de base para a crepagem da folha ou para a obtenção de uma superfície mais acetinada. Após detalhar a estrutura e funcionamento do cilindro *Yankee*, recorda-se o sistema de remoção do ar húmido e de recuperação de calor, já estudado no Capítulo 8, assente numa capota que cobre todo o cilindro *Yankee*. Em seguida, analisa-se a crepagem, *i.e.*, a operação que permite obter o efeito enrugado da folha: como é feita (com uma lâmina (*doctor blade*) em contacto com o cilindro secador), quais as propriedades que influencia e de que modo é controlada. É o momento de definir uma outra propriedade importante dos papéis *tissue*, o grau de crepagem, função da relação entre a velocidade do cilindro *Yankee* e a do enrolador (*Pope reel*), no qual se forma o rolo de grandes dimensões (*jumbo*). Tal como nos capítulos anteriores, também se recorre a filmes para ilustrar a operação dos diferentes equipamentos e são dados valores típicos de operação (dimensões, velocidades, pressões, evolução do grau de secura da folha, ...).

Referem-se de seguida as operações de acabamento: a calandragem (precedida do desenrolamento), o corte e a rebobinagem, a fim de controlar a espessura, obter folhas de menores dimensões e/ou juntar várias camadas. A concluir, fala-se da transformação, uma etapa relevante nos *tissue* tendo em conta a multiplicidade de produtos com propriedades distintas, e que contempla, dependendo dos produtos, operações como a impressão, a gofragem, a laminação, a perfuração (que permite depois individualizar folhas), a bobinagem, a dobragem/vincagem, a colagem e finalmente a embalagem e a paletização. No que respeita a gofragem, que introduz relevos decorativos, considera-se as propriedades que afeta, os tipos de gofragem e os equipamentos usados.

A parte seguinte da lição dedica-se aos papéis e cartões de embalagem, caracterizados por uma gramagem geralmente superior a 150 g/m² e por possuírem boas resistências mecânicas, sendo que, ainda mais do que no caso dos papéis *tissue*, é grande a variedade de produtos no mercado, com propriedades e usos finais distintos e com processos de produção com algumas

particularidades. Aos estudantes é apresentada a classificação da norma portuguesa NP 3983:1990, já mencionada no Capítulo 1, que considera três grupos: *i)* cartões sólidos e cartões dobráveis; *ii)* cartão canelado (ou corrugado); *iii)* papéis de embalagem. No entanto, também se apresentam os correspondentes termos em inglês, por serem muito usados, respetivamente *Cartonboards*, *Containerboards* e *Packaging papers*, exemplificando-se com alguns produtos de cada categoria: cartões para caixas planificadas, cartão compacto ou cartão para embalagem de líquidos, cartão ondulado para transporte de grandes pesos/volumes, papéis de embalagem para sacos, embrulhos e também embalagens alimentares, entre outros. Atendendo à multitude de produtos, é referida a grande flexibilidade necessária na maior parte das fábricas de papéis e cartões de embalagem, com equipamentos que, desde a preparação das pastas até à transformação, necessitam de satisfazer requisitos distintos.

Para cada uma das categorias, são indicados aos estudantes valores típicos da gramagem, principais fibras utilizadas, parâmetros distintivos, características relevantes, e especificidades do processo de produção. Neste âmbito, no que respeita aos *Cartonboards*, destaca-se a estrutura multi-camada, o tipo de fibras em cada camada, a possibilidade de serem sem ou com colagem da superfície, revestimento e impressão, considerando o pretendido no produto final. Quanto ao processo, fala-se da secaria em multi-cilindros ou com cilindro *Yankee*. É feita uma breve abordagem ao sistema de secagem *Condebelt* e ao efeito benéfico nas propriedades de resistência do cartão, cuja superfície fica também mais lisa. Já no contexto dos *Containerboards*, distingue-se o ondulado ou canelado (*flutting*) da cobertura (*liner*), e indicam-se os tipos mais frequentes de cartão canelado: com cobertura numa só face ou nas duas faces, e com até três camadas de ondulado, separadas por camadas intermédias de *liner*. Destaca-se o processo de obtenção do papel ondulado (na máquina de canelar), baseado na passagem da folha por rolos ranhurados e na colagem com a cobertura, seguida de secagem, corte e acabamento. Quanto à cobertura fala-se dos produtos conhecidos como *kraftliner*, para os quais se utiliza pasta química, e nos conhecidos como *testliner*, para os quais se usam fibras recicladas e quebras da máquina, normalmente constituídos por duas camadas e obtidos em máquinas equipadas com formadores *Fourdrinier* ou *gap-formers* e secagem multi-cilindros, operando a menor velocidade do que o caso dos papéis de impressão e escrita.

De seguida, é dada atenção à etapa do revestimento, fundamental em determinados produtos de embalagem, abordando-se os objetivos desta operação (controlo da lisura, da absorção, da impressão, das propriedades de barreira, do aspeto visual,...) e os aspetos relacionados com o número de camadas do revestimento em cada face, os valores do *pick-up*, a composição das formulações e o modo como o revestimento é aplicado. São assim recordados alguns conceitos do Capítulo 9 e são dados alguns exemplos específicos, como é o caso dos produtos

usados em embalagens alimentares, onde se podem usar polímeros naturais ou sintéticos, e minerais, a fim de aumentar as propriedades de barreira. Referem-se depois a calandragem e as etapas da transformação: gofragem, impressão, dobragem, corte, aparamento e colagem.

A concluir o capítulo estudam-se as propriedades relevantes dos papéis e cartões para embalagem: resistência à compressão; rigidez na direção Z (delaminação, ligação entre camadas); resistência ao encurvamento / abaulamento e às dobras; alongamento; propriedades de barreira ao vapor de água e de oxigénio, a gorduras e a óleos; propriedades de natureza sensorial, como a aparência, limpeza, contaminação e odor. De entre este conjunto, referem-se as que são críticas consoante o tipo de produto, por exemplo para embalagens alimentares. No entanto, aos estudantes é pedido que refiram outras que já conhecem, em função do tipo de material, como sejam a resistência à tração, ao rasgamento e ao rebentamento, ou a rigidez da superfície. Para cada propriedade específica referem-se os testes usados para a quantificar, e indicam-se as normas aplicáveis (ISO, SCAN, TAPPI, EN...), se for o caso. São exemplo os testes de resistência à compressão tais como os testes SCT (*Short Columns Test*), CMT (*Concora Medium Test*) ou FCT (*Flat Crush Test*), ou o da medição do coeficiente de atrito cinético da superfície, entre outros.

Os estudantes são alertados para o facto de que alguns dos ensaios referidos devem ser feitos em diferentes condições de temperatura e humidade dada a importância de os produtos serem resistentes independentemente das alterações no ambiente envolvente.

Capítulo 11 – Papel reciclado (2 horas)

A crescente utilização de papel reciclado e algumas particularidades do processo de fabrico justificam que se dedique uma aula a esta temática, começando por se analisar as razões económicas e ambientais que justificam a reciclagem de papel e cartão, desde o custo e escassez da matéria-prima madeireira à preservação da floresta, entre outros. Adicionalmente procura-se que os estudantes, com base nos conhecimentos adquiridos ao longo da unidade curricular, sejam capazes de explicar porque não se recicla a totalidade do papel consumido, apontando fatores como a perda progressiva da qualidade das fibras recicladas, os custos de reciclagem de alguns tipos de produtos papéis ou ainda os custos logísticos associados ao grande volume de papel a transportar com o objetivo de o reciclar. É dada informação estatística relativa à evolução do consumo de papel reciclado ao longo do tempo e à distribuição geográfica da produção e consumo, analisando-se de seguida a realidade nacional, com valores da percentagem de papel consumido que incorpora fibras recicladas, taxas de reciclagem e valores da capacidade de produção instalada. Com base no ciclo de reciclagem de papel e cartão, que se apresenta, distingue-se papel reciclado, i.e., aquele produzido com

fibras recicladas, de papel recuperado, o que dá origem a essas fibras. De seguida, são referidas as fontes do papel recuperado (indústrias e empresas, escritórios, ambiente doméstico), a sua classificação com base na norma EN 643:2014, as formas como se pode apresentar (selecionado e não selecionado; embalado/enfardado, triturado e a granel), e ainda a grande diversidade de fibra para reciclar (de pastas químicas, mecânicas, mistas, recicladas,...).

Pede-se então aos estudantes para identificarem substâncias/materiais presentes no papel recuperado e que prejudicam o respetivo processamento (os contaminantes): areias, metais, plásticos, vidros, partículas de tinta, gorduras, colas, cargas minerais, pigmentos e até metais pesados. Para alguns são dados valores indicativos de densidade e tamanho de partículas. Definem-se os *stickies* (partículas pegajosas, deformáveis e hidrofóbicas, que aparecem no processo de reciclagem com origem nas colas, ligantes, agentes de revestimento e restos de tintas) e fala-se dos seus efeitos negativos no processo e no produto final. Ainda a propósito do papel recuperado abordam-se os parâmetros que condicionam o seu potencial de reciclagem, como a humidade, as cinzas, a composição em termos de contaminantes, a facilidade de desintegração e a drenabilidade da suspensão obtida, bem como a facilidade de remoção de contaminantes e de destintagem. Neste contexto, detalham-se alguns dos testes que se devem fazer ao papel recuperado.

A parte seguinte da lição versa o processamento do papel recuperado para a obtenção do papel reciclado, e parte do pressuposto que os estudantes são já conhecedores das principais etapas e operações associadas à produção de papéis de impressão e escrita, *tissue* e de embalagem. Após se referir a amostragem, apresenta-se o fluxograma geral e simplificado do processo, com as etapas de preparação da pasta, formação, secagem e acabamento. O enfoque será nas operações unitárias específicas do tratamento de fibras recicladas, nomeadamente desintegração, crivagem, depuração, destintagem e espessamento. Assim, apresentam-se os vários tipos de desintegradores, usados consoante o tipo de papel a reciclar, bem como o equipamento usado no despastilhamento e nas operações de remoção dos contaminantes (crivagem, depuração, destintagem), referindo os objetivos e princípios físicos subjacentes a cada operação. Comparam-se as eficiências dos processos de separação em função do tamanho e densidade dos contaminantes. Estuda-se com mais detalhe a destintagem por flotação, enunciando os princípios teóricos desta operação unitária e mostrando alguns sistemas de flotação, e refere-se também a destintagem por lavagem, para partículas mais pequenas. Fala-se igualmente da refinação das fibras recicladas e recordam-se de forma breve a formação, secagem, tratamentos de superfície e transformação, já abordados em capítulos anteriores.

Segue-se o estudo dos agentes químicos usados no processo de reciclagem, quer na separação e remoção de tintas, quer na separação de contaminantes, de *stickies* e de material dissolvido e coloidal. Igualmente se referem agentes de branqueamento para pastas destintadas bem como aditivos do processo como anti-espumas e biocidas, entre outros já antes estudados. Sabendo quais as operações unitárias e os aditivos, conclui-se esta parte da lição com um fluxograma do processo já mais detalhado, indicando as correntes e os pontos de adição dos diferentes agentes químicos.

Após a análise do processo, é o momento de estudar o impacto das diferentes etapas da reciclagem nas propriedades das fibras, designadamente na morfologia, na flexibilidade, na química da superfície e nas propriedades de resistência. Recorda-se o conceito de hornificação e avalia-se o efeito da refinação nas fibras hornificadas. Estuda-se igualmente a influência de contaminantes residuais, como fibras coradas, partículas de tinta, *stickies* e cargas, entre outros, na qualidade das fibras recicladas. Neste contexto, são referidos alguns testes para avaliação do seu potencial papelero, para além dos comumente usados e estudados no Capítulo 3, tais como os de medição da biometria das fibras e teores de cinzas, *stickies*, impurezas e partículas residuais de tinta. No que diz respeito às águas do processo, bastante afetadas pelos tratamentos feitos às fibras, fala-se das características do lixo aniónico e da demanda química de oxigénio, bem como da remoção dos inorgânicos dissolvidos e do material coloidal nos circuitos.

A concluir este capítulo, é feita uma análise das causas de degradação do papel, a qual naturalmente afeta o seu potencial de reciclagem. Assim, abordam-se causas intrínsecas (tipo de fibra, químicos estruturais e químicos residuais do processo), bem como o efeito de causas externas (temperatura, luz, humidade, poluentes atmosféricos e agentes biológicos).

Capítulo 12 – Nanoceluloses na indústria papelera – produção, propriedades, caracterização e aplicações (2 horas)

O conteúdo detalhado deste capítulo, o último da unidade curricular, é o objeto da Lição apresentada no âmbito destas provas de agregação, pelo que se remete a leitura do mesmo para o sumário pormenorizado da Lição.

4.3 Programa de aulas de laboratório

A matéria correspondente ao programa da unidade curricular, ministrada ao longo de 42 horas de aulas, deve ser complementada com a realização de trabalhos de laboratório. No entanto, dada a extensão e diversidade dos conteúdos, nem todos poderão ser abordados nestas aulas

práticas. São propostas duas aulas com a duração de 4 horas cada, e no conjunto das 8 horas cada grupo de (preferencialmente e se possível) três estudantes realizará o trabalho constante de apenas um dos protocolos que serão disponibilizados e que estão listados no Anexo C.

Para a realização destes trabalhos, e consoante o protocolo considerado, os estudantes seguirão procedimentos de: *i)* refinação de pastas; *ii)* medição da drenabilidade das pastas; *iii)* formação de folhas de laboratório (com todos os aditivos normalmente utilizados); *iv)* avaliação das propriedades mais relevantes do papel; *v)* determinação do teor de cargas minerais; *vi)* revestimento de papel em laboratório; *vii)* análise da topoquímica do papel. Com as atividades laboratoriais descritas, os alunos terão a possibilidade de aplicar os conhecimentos transmitidos em muitos dos capítulos do programa, designadamente *Potencial papeleiro das pastas, Química do papel, Física e propriedades do papel, Preparação das pastas e Colagem de superfície, revestimento e acabamento*. Capítulos com um conteúdo mais tecnológico, como sejam os de relacionados com *Máquina de papel: parte húmida, Máquina de papel: secagem, Acabamento e transformação e Papel reciclado* serão ilustrados através das visitas de estudo. Os trabalhos realizados em cada edição da unidade curricular dependem naturalmente do número de alunos, podendo haver necessidade de ajustar o número de estudantes por grupo.

Tal como para a componente teórica da disciplina, também para a componente laboratorial da unidade curricular é fundamental a colaboração com (e a disponibilidade de) o grupo *The Navigator Company*, colaboração essa até hoje nunca negada. Na verdade, no DEQ não existem equipamentos e instalações que permitam realizar os trabalhos acima listados, à exceção de parte do relativo aos tratamentos de superfície e qualidade de impressão, sendo imprescindível recorrer aos laboratórios do RAIZ. Se por um lado tal facto tem óbvios inconvenientes, como sejam as deslocações e a necessidade de ajustamento / coordenação com o trabalho de rotina do RAIZ, por outro tem vantagens significativas e com efeitos positivos na aprendizagem dos alunos. Desde logo se complementa e mantém, por esta via, a estreita colaboração entre o DEQ e o RAIZ. Mas mais importante ainda, numa perspetiva de aplicação dos conhecimentos e qualidade do trabalho laboratorial realizado, é o facto de os estudantes contactarem de perto com a atividade de prestação de serviços, investigação e desenvolvimento do RAIZ e, sobretudo, utilizarem equipamentos em perfeito estado de funcionamento, calibrados e integrados num sistema da qualidade certificado, e efetuarem os ensaios cumprindo todas as normas técnicas aplicáveis. Deste modo, e a menos de imprevistos e de erros imputáveis aos operadores (no caso, os estudantes), o rigor dos resultados obtidos é garantido. Além disso, os alunos atestam que praticamente todos os ensaios seguem normas técnicas específicas (ISO, TAPPI, SCAN, DIN, CEN, NP, BS ou outras).

Na sequência do exposto, cumpre também dizer que apenas com um investimento demasiado elevado, incomportável para os orçamentos disponíveis tanto no DEQ quanto no CIEPQPF, seria possível adquirir os equipamentos necessários e mantê-los em perfeito estado de funcionamento, permanentemente calibrados e satisfazendo os requisitos da qualidade (NP EN ISO 17025). Acresce que a maioria dos ensaios de medição das propriedades físicas do papel é feita em sala condicionada (temperatura e humidade controladas), cuja manutenção, para além da aquisição, é também demasiado dispendiosa.

O trabalho de *Avaliação de tratamentos de superfície de papéis de escritório na rugosidade, topoquímica e propriedades de impressão do papel* pode ser parcialmente executado no DEQ: revestimento do papel em revestidora laboratorial e determinação da energia de superfície do papel (componentes polares e dispersiva) e do carácter mais ou menos hidrofílico da superfície através da medição do ângulo de contacto. A topografia da superfície e a qualidade de impressão serão avaliadas no RAIZ (pela técnica da perfilometria ótica).

4.4 Programa de visitas

Um dos aspetos que tem diferenciado esta unidade curricular de muitas outras do plano de estudos do MIEQ é o de, para além das demonstrações laboratoriais no RAIZ, incluir a realização de duas visitas de estudo, uma à fábrica de papel do Grupo *The Navigator Company*, no complexo da Figueira da Foz, com a duração de 3,5 horas, e outra à fábrica de Papel do Prado – Cartolinas da Lousã, com a duração de 2,5 horas. Pretende-se continuar a facultar aos estudantes estas visitas, com o objetivo de tomarem contacto desde logo com o ambiente fabril e depois com os equipamentos nas diferentes etapas do processo, desde a refinação da pasta até ao acabamento, apercebendo-se da sua diversidade, complexidade e funcionamento.

A opção pela visita aos dois *sites* industriais indicados justifica-se, para além da proximidade geográfica à Universidade de Coimbra, pelo facto de permitir aos estudantes confrontar duas unidades bem distintas: a primeira, equipada com tecnologia de ponta, com duas máquinas independentes (uma com 161 m de comprimento e 8,6 m de largura de folha e outra com 180 m de comprimento e 10,3 m de largura de folha), produzindo no total cerca de 800×10^3 ton/ano de papéis brancos não revestidos (papel de escritório com gramagem entre 70 e 120 g/m², e papel *offset* com gramagem entre 60 e 120 g/m²); a segunda, equipada com tecnologia muito mais antiga, com duas mesas de formação planas com cerca de 2,4 m de largura de folha, que produz 25×10^3 ton/ano de cartolinas de diferentes cores (com gramagem entre 180 e 250 g/m² nas cartolinas a cores e com gramagem entre 120 e 350 g/m² nos “brancos”). Se na fábrica do grupo *The Navigator Company* os estudantes contactam com uma

unidade de grande escala, com equipamento muito recente, de grande dimensão e com elevada capacidade de produção, na visita à fábrica da Prado – Cartolinas da Lousã os estudantes têm a possibilidade de uma maior aproximação aos equipamentos, o que lhes permite discriminar melhor os vários componentes e aperceberem-se de determinadas particularidades, como é o caso da formação de papéis de elevada gramagem a partir da junção, num rolo “casamenteiro”, de duas folhas formadas em mesas planas independentes. Esta visita tem ainda a vantagem de os estudantes verem como é conferida a cor às cartolinas e como os ciclos de produção de diferentes cores se sucedem, o que na fábrica da Figueira da Foz não é possível dado se produzir em contínuo papéis brancos. No laboratório da fábrica da Lousã são mostrados alguns ensaios para avaliação das propriedades físicas do papel que não estão disponíveis no RAIZ, como sejam por exemplo os de medição do coeficiente de atrito e de resistência da superfície das cartolinas, da resistência à flexão ou de medição da colagem interna pelo teste *Cobb*.

4.5 Notas finais

O programa apresentado, não obstante direcionado para uma formação mais específica na área da ciência e tecnologia do papel, tendo em conta os objetivos definidos na secção 3 deste relatório, tem a virtude, no julgamento do autor, de ser útil para a formação de qualquer Engenheiro Químico. Basta atender ao conteúdo de capítulos como os relacionados com a química do papel, a física do papel, a formação e secagem na máquina de papel ou os tratamentos de superfície, nos quais os estudantes adquirem conhecimentos com um grau de complexidade considerável, que implicam a integração e compreensão de diferentes conceitos e a aplicação de conhecimentos previamente adquiridos em outras unidades. Esses conteúdos são aplicáveis em muitas áreas da atividade de um Engenheiro Químico, por exemplo nas que apelam a conhecimentos da química de superfícies, coloidal e dos polímeros, das operações de secagem ou das propriedades de materiais. Tal é o caso das indústrias farmacêutica, de tintas, de polímeros ou gráfica, não esquecendo a que tem maior afinidade com a de produção de papel, que é a indústria têxtil. Aliás, como exposto na secção 2.2 deste relatório, em algumas Escolas a Engenharia Têxtil e a Engenharia Papeleira são ministradas num mesmo departamento ou até num mesmo curso (tal foi o caso, em Portugal, da Universidade da Beira Interior). Acresce ainda a valia dos conhecimentos adquiridos para atividades na indústria química fornecedora de produtos para as fábricas de papel.

Ao repensar o programa que tem funcionado até à data e ao propor um programa renovado, o autor teve a preocupação de colocar no início do semestre letivo todos os conteúdos de natureza mais teórica, razão pela qual os capítulos de *Química do papel* e de *Física e propriedades do papel* aparecem antes dos capítulos relacionados com o processo, de índole

mais tecnológica, como os de preparação da pasta, formação e secagem da folha e acabamento (em alguns outros programas agrupados numa única disciplina de “Tecnologia papelreira”). Pretende-se assim munir atempadamente os estudantes com as bases necessárias para uma melhor compreensão das operações do processo, dos mecanismos/fenómenos que ocorrem e dos efeitos das sucessivas etapas nas propriedades do produto. É experiência do autor que falar das propriedades do papel (ou até da química do papel) apenas depois das operações da máquina não facilita a abordagem de tópicos como a refinação ou a formação. Nem sempre é esta a metodologia seguida em alguns programas de outra Escolas, onde principalmente a física e as propriedades do papel são estudados após a tecnologia de produção (vd. Tabela B.2). Na parte final do programa o autor contemplou tópicos que têm ganho importância, por imposição do mercado e por razões ambientais (papéis *tissue*, de embalagem e reciclados) e uma aula com um tema (Nanoceluloses) que faz parte da agenda de investigação na área da biorrefinaria/papel e sobre o qual já existem algumas experiências industriais. Se por questões pontuais de calendário houver necessidade de encurtar o programa da unidade curricular, será o último capítulo aquele que não será abordado. A introdução no programa de aulas de laboratório é um dos aspetos que valoriza a proposta apresentada, acrescentando também mais um elemento para avaliação dos conhecimentos dos estudantes. De notar que até agora os alunos apenas acompanhavam a realização de alguns ensaios durante a visita ao RAIZ. Dada a sua importância, as visitas a fábricas mantêm-se no programa da disciplina.

Em conclusão: alterar substancialmente o programa das edições anteriores, nas quais o autor teve uma intervenção crucial, concertada com os colaboradores da indústria, não seria naturalmente possível sem fugir à matriz do que é o ensino da ciência e tecnologia do papel a nível mundial, sem alterar os objetivos da unidade curricular e sem afetar o padrão de colaboração com a indústria ao nível da docência. Ainda assim, o autor julga ter agora proposto um programa mais coerente, no qual os temas são abordados sequencialmente de forma a “acompanhar” o processo de produção do papel a partir de conhecimentos teóricos transmitidos fundamentalmente nos cinco capítulos iniciais, e também um programa mais consonante com as evoluções e necessidades do setor em Portugal. Apesar de serem introduzidos novos conteúdos e aprofundados outros (e.g., física do papel e papeis de embalagem), bem como propostos adicionalmente trabalhos de laboratório, o programa é exequível no tempo disponível, desde que o plano de aulas seja cumprido de forma rigorosa e sem atrasos, o que depende não só dos docentes mas também do desempenho dos estudantes.

5. METODOLOGIA DE ENSINO

A unidade curricular é proposta para 5 ECTS, tal como tem acontecido nos últimos anos e se aplica igualmente às demais disciplinas de opção do plano curricular do MIEQ, o que corresponde a 56 horas de contato, sendo 42 para aulas teóricas e teórico-práticas e 14 horas para aulas de laboratório e para visitas.

Nos módulos de aulas teóricas/ teórico-práticas são apresentados pelo professor ou, em alguns casos, por peritos da indústria, os fundamentos teóricos, os processos e os equipamentos associados à produção do papel, consoante os conteúdos de cada capítulo. A matéria abordada é ilustrada, sempre que possível, com situações reais (designadamente exemplos da indústria) e com a apresentação de casos de estudo, em particular nos Capítulos 6 a 11, de caráter mais tecnológico, para que os estudantes melhor se apercebam da aplicação dos conhecimentos transmitidos. Exemplos de resultados de ensaios de laboratório, seja de caracterização de materiais, de avaliação das propriedades do papel ou até de estudos mais aprofundados em trabalhos de investigação e desenvolvimento, bem como artigos de revisão de outros autores, são também utilizados, especialmente nos Capítulos 2 a 5 e no Capítulo 12.

O veículo principal de exposição será a apresentação e a discussão oral dos conteúdos, acompanhadas de diapositivos de apoio, de esquemas no quadro, de muitas imagens mas também, quando adequado e possível, filmes (e.g, sobre a máquina de papel, a produção de papel *tissue* ou o processamento de papel recuperado). O recurso a fotografias e vídeos permite uma perceção mais eficaz, por parte dos estudantes, de algumas etapas do processo de produção de papel, do modo de funcionamento de diversos equipamentos e da preparação e utilização de materiais, transpondo assim a “aprendizagem” de conceitos em sala para a sua “aplicação” no ambiente industrial e facilitando depois, aquando das visitas de estudo, o reconhecimento das unidades e operações em fábrica. Com o mesmo objetivo, em certos capítulos, são apresentados aos alunos componentes do papel na sua forma original (e.g., quando se estudam as fibras, as pastas e os aditivos do papel) e componentes de equipamentos (e.g., quando se estuda a refinação e os estudantes têm a possibilidade de ver as guarnições dos refinadores). São também resolvidos e discutidos em aula alguns casos práticos e/ou problemas de aplicação, e propostos outros para resolução voluntária em casa. Uma preocupação constante é a de estabelecer, sempre que aplicável, a ligação com princípios da Engenharia Química, como seja o caso, ao estudar a secagem, da transferência de calor e de massa e dos balanços de matéria. O Capítulo 5, dedicado à física e propriedades

do papel, será ministrado no RAIZ pois tal permite que imediatamente após a abordagem dos aspetos relacionados com a estrutura da folha seja possível falar de algumas propriedades do papel e da sua medição diante dos equipamentos adequados.

No que ao autor diz respeito, a dinâmica empreendida nas aulas reflete a sua larga experiência pedagógica (e também de formação em ambiente industrial, designadamente a operadores), e passa portanto por uma certa “intuição” e “percepção” de qual a melhor forma para em cada momento transmitir a informação, mas é também naturalmente influenciada pelo seu percurso científico e pelo historial de colaboração com a indústria. Deste modo, recorrerá sempre que possível a exemplos e resultados de trabalhos de investigação/desenvolvimento em que participou, no âmbito de trabalhos de seminário, dissertações de mestrado e doutoramento, projetos de investigação e projetos com a indústria, de diferentes tipologias. Um exemplo é desde logo na aula de introdução, em que os estudantes tomarão contato com a complexa estrutura e composição do papel visualizando imagens de diferentes papéis adquiridas, em trabalhos do autor, por SEM, FESEM, AFM, ESCA e perfilometria óptica. Outros exemplos são os dos aditivos do papel (principalmente abordados no Capítulo 5), tendo em conta o muito que estudou ao nível de cargas e floculação, dos tratamentos de superfície e propriedades de impressão (Capítulos 5 e 10) e da aplicação de nanoceluloses em *papermaking*. Se a experiência pedagógica do autor, bem como a experiência científica, são fatores que concorrem para que as aulas possam funcionar de forma mais acertiva, tendo em conta os seus objetivos, também a colaboração na docência de peritos da indústria, que trazem consigo uma vasta experiência de trabalho no terreno, de conhecimento dos equipamentos, do modo como funcionam e dos princípios subjacentes, é uma vantagem acrescida (e como já referido uma mais valia da unidade curricular), que completa a componente mais teórica da disciplina e contribui para despertar nos alunos maior interesse, empenho e atenção durante as aulas.

Na primeira aula do semestre é explicado o funcionamento da unidade curricular, dando-se informação relativa ao programa, ao calendário detalhado das aulas (com indicação de cada docente, quando não o autor deste relatório), aos trabalhos de laboratório e visitas de estudo a efetuar, às horas de atendimento, aos critérios de avaliação, à bibliografia (a recomendada como fundamental, a complementar e a netgrafia) e ainda à possibilidade de realização de estágio após conclusão do MIEQ. Os alunos são informados que a frequência das aulas, qualquer que seja a sua tipologia, não é obrigatória, mas são alertados para os prejuízos decorrentes do absentismo, desde logo porque parte da avaliação da unidade curricular passa pela realização do trabalho de laboratório e participação na redação e discussão do mesmo, o que não é possível ser feito com sucesso sem a frequência das aulas teóricas/teórico-práticas. Neste momento é feito um apelo à responsabilidade dos estudantes para que reconheçam o esforço dos peritos de elevada craveira da indústria que se deslocam para colaborar na

docência da disciplina, para que percebam as vantagens das visitas e dos trabalhos num laboratório da indústria, e para que assumam um compromisso de aprendizagem contínua ao longo do semestre, o qual, para os melhor classificados, pode culminar num estágio em ambiente fabril.

O facto de a assistência às aulas não ser obrigatória, apesar de sempre registada para efeitos do Sistema de Gestão da Qualidade implementado na UC, vai de encontro às orientações decorrentes da implementação da Declaração de Bolonha e ao novo paradigma educacional, que centra a aprendizagem nos estudantes e aposta na sua responsabilidade e capacidade em assimilar a informação de forma autónoma. Ainda assim, o autor acredita que é sempre necessária, na transmissão dos conhecimentos, uma exposição dinâmica, clara, não monótona, interpeladora, e que faça constante apelo à intervenção dos alunos, intercalada por elementos que despertem a sua curiosidade (como é o caso nesta unidade curricular dos referidos filmes, fotos, peças de equipamentos e resolução de exercícios de aplicação). Por um lado estes são direta e ativamente chamados a colocar questões e dúvidas e, por outro, o docente coloca questões simples, para a partir daí partir expor determinado assunto e estimular a participação e reflexão crítica dos estudantes. Além disso, no início de cada aula, o autor recorda, através de questões dirigidas aos alunos, os assuntos abordados nas aulas anteriores e faz um resumo dos mesmos. Na verdade, o modo como a matéria está sequenciada ao longo dos capítulos permite em cada aula fazer apelo aos conhecimentos adquiridos nas aulas anteriores, relacionando os assuntos. No final de cada sessão, é feita referência ao sumário da aula seguinte, a fim de os estudantes que o desejem se prepararem com recurso à bibliografia de consulta recomendada, em função naturalmente da sua disponibilidade de tempo. Estes aspetos poderão eventualmente ser de mais difícil aplicação em aulas ministradas por técnicos da indústria, que não têm, em princípio a visão / domínio global do programa.

Os diapositivos acima referidos são disponibilizados aos alunos na plataforma *Inforestudante* no final de cada aula, excetuando os casos em que o docente seja um colaborador da indústria e solicite expressamente que tal seja feito antes da respetiva aula. A razão pela qual os materiais não são facultados aos alunos previamente, bastante discutível, decorre no entanto da experiência do autor: estes estão mais atentos à exposição do professor do que na situação oposta, para além de se sentirem mais compelidos em assistir às aulas. Os estudantes são permanentemente alertados para o facto de os diapositivos não serem o único material de estudo, tão pouco o mais completo, funcionando apenas como suporte e orientação, e são incentivados insistentemente a consultarem pelo menos parte da bibliografia recomendada. A consulta de páginas web e o vasto universo de informação que disponibilizam serão indicados como meros complementos, a menos que reportem a artigos científicos, textos de revisão ou capítulos de livros.

Com as aulas de prática laboratorial pretende-se estimular a capacidade de os estudantes aplicarem, consolidarem e aprofundarem os conhecimentos transmitidos nas aulas teóricas/teórico-práticas, de trabalharem em equipa e depois, no relatório do trabalho, de fazerem uma avaliação crítica dos resultados. Estas aulas, conforme já indicado, também não são de carácter obrigatório, mas os relatórios contam para a avaliação (de acordo com os critérios expostos no sub-capítulo 6.1), pelo que os alunos que não participem nesta componente do programa serão somente avaliados pelo exame final, o qual não terá então uma cotação máxima de 20 valores. Neste contexto, e atendendo aos objetivos acima indicados, os estudantes devem sentir-se efetivamente empenhados em participar nas aulas de laboratório.

Os estudantes, em grupos de três, realizarão um dos trabalhos dos protocolos enunciados no Anexo C, em duas sessões de 4 horas cada. O número de alunos por grupo bem como o número de trabalhos podem ser ajustados por razões de natureza logística, tanto mais quanto se realizam, maioritariamente, nas instalações do RAIZ. Por este último facto, e também para poderem ser devidamente acompanhados pelo autor, os trabalhos não decorrerão em simultâneo, pelo que atempadamente é elaborado um calendário de aulas práticas considerando as disponibilidades dos alunos, do RAIZ e do autor. Em qualquer caso, estas aulas devem decorrer obrigatoriamente após concluída a matéria do Capítulo 11, a menos de exceções impostas pelas limitações indicadas.

Os alunos terão acesso aos protocolos (e procedimentos associados) após a conclusão do Capítulo 6 do programa (*Preparação das pastas*) a fim de terem tempo suficiente para prepararem a realização do trabalho, distribuir tarefas e tirar depois o máximo rendimento do tempo disponível para a execução. Em complemento, no início de cada trabalho, o autor analisa o protocolo com cada grupo, recorda o objetivo e avalia a alocação de tarefas e exequibilidade das mesmas.

No final da atividade laboratorial cada grupo deve apresentar um relatório do trabalho, no qual se pretende que, através da discussão dos resultados, de forma crítica e devidamente suportada em bibliografia, os estudantes dêem conta do grau de profundidade dos conhecimentos adquiridos e da sua aptidão para os utilizar. Não se impõe uma estrutura para o relatório, sendo porém dadas algumas orientações pelo docente e sugerindo-se que os estudantes consultem modelos já aplicados em relatórios de outras disciplinas. Por esta via, avalia-se também nos estudantes a capacidade de organizarem e apresentarem num documento necessariamente curto (não mais de 20 páginas) os objetivos / definição do problema, a metodologia experimental seguida (sendo que já há procedimentos detalhados), os resultados obtidos e sua análise e a respetiva discussão crítica e fundamentada. A entrega do relatório é requerida até ao final do semestre. O mesmo é, depois de analisado e avaliado pelo

docente, discutido com o grupo a fim de esclarecer algumas dúvidas que persistam, interpretar os resultados em conjunto, avaliar o verdadeiro contributo de cada membro do grupo para o trabalho e para o relatório, e perceber o grau de domínio dos assuntos por cada estudante. Esta discussão decorrerá, por limitações de calendário, já fora do período de aulas, na semana de trabalho seguinte ao final do semestre, e culmina com uma classificação atribuída tendo em conta o desempenho individual dos estudantes, pelo que não será forçosamente uniforme em cada grupo.

Também as visitas de estudo, que promovem o contacto direto dos estudantes com o ambiente industrial, e lhes permite avaliar a dimensão, complexidade, diversidade, funcionamento e controlo dos equipamentos, e ainda aplicar e relacionar os conhecimentos assimilados durante as aulas, não são de carácter obrigatório, mas são vivamente recomendadas. Estas visitas são previamente agendadas com as fábricas, de modo a ficarem previstas desde início do semestre no calendário das aulas,

No início de cada visita o professor faz uma introdução curta relativa aos objetivos da visita e ao que os estudantes vão ver, a qual é depois conduzida por técnicos indicados pela empresa. A Direção da empresa pode optar por igualmente fazer uma breve introdução / apresentação em sala, prévia à visita propriamente dita.

Uma vez que as visitas ocorrem, propositadamente, no final do semestre letivo, é pedido aos alunos que relacionem o que vêem durante a visita com a matéria teórica e os conhecimentos adquiridos, identificando processos, equipamentos e materiais, bem como objetivos de cada etapa. Os estudantes são igualmente incentivados a colocarem todas as dúvidas a fim de melhor esclarecerem os conceitos teóricos.

Com o objetivo de avaliar o empenho colocado pelos alunos durante as visitas, o exame final, de carácter obrigatório, inclui uma pergunta relacionada com as mesmas, incidindo num determinado pormenor do qual apenas na visita e nunca nas aulas teóricas os alunos se possam ter apercebido.

6. AVALIAÇÃO

6.1 Processos de avaliação

A avaliação dos conhecimentos adquiridos não é senão mais uma componente (importante) do processo de aprendizagem, com evidentes benefícios para os estudantes. Na verdade, a necessidade de se submeterem a avaliação condiciona o modo como os estudantes se empenham nas aulas, no estudo e na consolidação da aprendizagem dos diferentes conteúdos. Este facto é especialmente relevante quando se adota para uma unidade curricular um regime de avaliação periódica, o qual de algum modo determina, por parte dos alunos, um acompanhamento mais continuado das aulas.

É este regime que, de entre os possíveis na FCTUC, se propõe para a unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel*: avaliação periódica, mas com exame final obrigatório. Por um lado, o autor acredita que assentar a avaliação somente no exame final não é a abordagem que melhor serve o processo de aprendizagem dos alunos, dada a extensão do programa, a complexidade dos temas abordados e até a diversidade das metodologias seguidas (pelo facto de não haver apenas um docente mas também vários colaboradores da indústria). Por outro lado, prescindir de um exame final de carácter obrigatório e recorrer apenas a momentos de avaliação independentes e parcelares ao longo do semestre também não se afigura, na sua opinião, a melhor estratégia para uma unidade curricular desta natureza. De facto, um exame no qual seja possível abordar, com maior ou menor intensidade, qualquer um dos tópicos ministrados ao longo do semestre tem a virtude de “impor” ao estudante uma preparação que lhe permite obter uma visão de conjunto mais integradora dos saberes transmitidos e um conhecimento global mais consolidado. A este respeito, importa referir que o modelo seguido na unidade curricular desde 2011 tem sido o de efetuar somente um exame final, mas tal tem revelado de forma crescente que os estudantes tomam uma atitude mais ligeira na aprendizagem ao longo do período letivo, muitas vezes como consequência do esforço para outras unidades curriculares a funcionar em regime de avaliação contínua, e que no momento de preparação para o exame “estudam” de forma intensiva mas não eficaz, evidenciando claras falhas de consolidação da matéria. Esta realidade, assim como a experiência do autor na adoção do modelo de avaliação baseado em exame final obrigatório e em uma outra componente (e.g., trabalhos práticos, mini-testes ou monografias), usado em outras disciplinas em que colabora ou colaborou (e.g., *Processos de Separação II* do atual plano de estudos de MIEQ ou *Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel* no período anterior a 2011), contribuiu para a opção proposta agora para a unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel*. Assim, o modelo sugerido é:

- Trabalho e relatório da atividade de laboratório, facultativo – 30% da classificação final;
- Exame final, obrigatório – 70% da classificação final.

Como a frequência às aulas não é obrigatória, qualquer que seja a sua tipologia, os estudantes podem optar por não realizar o trabalho laboratorial e neste caso não são avaliados nesta componente e ficam limitados à classificação do exame, com peso de 70%. A avaliação na componente laboratorial implica a participação na realização do trabalho e na elaboração e discussão do correspondente relatório. Tanto para o trabalho de laboratório quanto para o exame final é exigida uma classificação mínima de 7,5 valores (em 20), sendo necessária uma média final igual ou superior a 10 para aprovação na unidade curricular. Todos os alunos são admitidos a exame final, o qual deverá ter uma duração não superior a 3 horas.

Em alternativa ao modelo proposto, é dada aos estudantes a possibilidade de adicionarem uma componente ao trabalho e relatório de laboratório e ao exame final: a redação de uma monografia, com 10 a 15 páginas, na forma de resenha bibliográfica sobre um tema específico definido pelo autor, suficientemente confinado, e naturalmente relacionado com um dos tópicos do programa. Esta monografia é individual e o objetivo é o de permitir que os alunos mais interessados se diferenciem positivamente através do estudo mais aprofundado de um determinado assunto. Neste caso, a classificação obtida resulta de três elementos:

- Trabalho e relatório da atividade de laboratório, facultativo – 30% da classificação final;
- Monografia – 10% da classificação final
- Exame final, obrigatório – 60% da classificação final

Também neste modelo é necessário obter um mínimo de 7,5 valores (em 20) em cada componente de avaliação. Os estudantes que optem por escrever a monografia ficam obrigatoriamente vinculados a um exame final com peso de 60% na classificação global, qualquer que seja a classificação obtida na monografia. A inclusão ou não inclusão da monografia no processo de avaliação é decidida pelo docente em cada edição, em função do número de alunos interessados.

Tal como o exame da época normal, também o exame da época de recurso e os das épocas especiais terão um peso de 60% ou 70% consoante os estudantes tenham optado ou não, respetivamente, pelo trabalho de monografia.

Se os estudantes não obtiverem aprovação na unidade curricular mas tiverem já feito o trabalho de laboratório (e eventualmente a monografia) com uma classificação igual ou superior a 7,5 valores (em 20), estão dispensados de repetir esta(s) componente(s) de avaliação nos dois anos letivos completos seguintes.

Tal como já indicado, na primeira aula do semestre os estudantes são devidamente informados dos critérios de avaliação adotados na unidade curricular e terão 4 semanas para decidir se optam pelo modelo sem ou com entrega de monografia, no caso de esta opção ser facultada.

No sub-capítulo 2.2 deste relatório foi referido que os estudantes do Mestrado de Continuidade em *Engenharia de Materiais* podem frequentar como opção a disciplina de *Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel*, a qual, por imposição da necessária otimização de recursos, funciona em simultâneo com a de *Ciência e Tecnologia do Papel* do MIEQ, embora lhe correspondam 6 ECTS (e não 5 ECTS como no MIEQ). Por esta última razão, que se deve refletir numa maior carga horária dedicada à disciplina, a elaboração da monografia é obrigatória para estes estudantes (e não opcional como para os estudantes do MIEQ), ficando assim confinados à avaliação pelo seguinte modelo:

- Trabalho e relatório da atividade de laboratório, facultativo – 30% da classificação final;
- Monografia, obrigatória – 10% da classificação final
- Exame final, obrigatório – 60% da classificação final

Os modelos de avaliação periódica propostos vão de encontro ao desenvolvimento de muitas das competências pessoais indicadas no Capítulo 3, como por exemplo o domínio do conhecimento teórico, a capacidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos ou a capacidade de trabalhar em equipa e de comunicar conclusões e raciocínios, entre outras. Cumprem, adicionalmente, o regulamento em vigor na FCTUC e permitem, segundo o autor, não obstante o esforço acrescido que lhe será exigido, garantir a continuidade de bons resultados, reconhecida nos inquéritos pedagógicos efetuados aos alunos e abordados na secção seguinte, e ainda estimular o interesse e aumentar o empenho dos alunos por forma a combater o recente ligeiro decréscimo nas suas classificações.

6.2 Avaliação da unidade curricular

A avaliação da unidade curricular é efetuada através do Sistema de Qualidade implementado pela Universidade de Coimbra, o qual contempla a realização de inquéritos pedagógicos aos alunos, semestralmente. Na Tabela 7 encontram-se os resultados obtidos desde 2011 para a unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel*, referentes ao programa indicado no início da secção 4.1.

Tabela 7 – Resultados dos inquéritos pedagógicos dos alunos da unidade curricular de *Ciência e Tecnologia do Papel* (resultados em % ou numa escala de 1 a 5).

	2018 2019	2017 2018	2016 2017	2015 2016	2014 2015	2013 2014	2012 2013	2011 2012	Média	
A	9	7	16	11	20	30	13	14		
B	35%	64%	67%	79%	91%	94%	87%	100%		
C	Ligeira	0%	0%	0%	0%	0%	3%	8%	2%	2%
	Adequada	71%	44%	31%	27%	35%	40%	38%	29%	39%
	Moderadamente pesada	29%	33%	50%	9%	50%	43%	38%	39%	36%
	Excessiva	0%	11%	6%	55%	15%	10%	8%	23%	16%
	Não aplicável	0%	0%	0%	9%	0%	3%	8%	5%	3%
D	4,8	4,6	3,3	3,6	4,0	3,7	4,7	4,0	4,1	
E	4,8	4,5	3,9	3,7	3,8	4,0	4,5	4,0	4,2	
F	4,8	4,6	3,9	3,7	3,8	3,9	4,6	4,1	4,2	
G	—	—	4,1	4,2	4,3	4,3	4,7	3,8	4,2	
H	4,2	4,4	3,7	3,9	3,9	4,2	4,5	4,0	4,1	
I	—	—	3,7	3,7	4,1	4,3	4,7	3,9	4,1	
J	4,8	4,6	3,5	4,2	3,6	4,1	4,7	3,8	4,2	
K	—	—	4,2	4,1	4,3	4,3	4,7	4,4	4,3	
L	4,5	4,5	3,8	3,8	4,1	3,9	4,2	3,9	4,1	
M	4,5	4,6	3,9	3,9	4,1	3,9	4,3	4,0	4,2	
N	4,5	4,6	3,9	3,6	3,9	3,8	4,3	3,8	4,1	

Legenda:

A - Número de respostas usadas no cálculo dos resultados

B - Taxa de resposta do inquérito aos estudantes

C - Adequação da carga de esforço exigida

D - Adequação e disponibilidade da bibliografia e outros elementos de apoio à aprendizagem

E - Apreciação média global da qualidade das aprendizagens

F - Perceção dos estudantes sobre os resultados da aprendizagem que conseguiram alcançar

G - Clareza dos programas, objetivos pedagógicos e critérios da avaliação

H - Não sobreposição de conteúdos com outras unidades curriculares

I - Clareza e adequação dos métodos e critérios de avaliação

J - Boa articulação entre matérias teóricas e práticas

K - Adequação do número de estudantes por turma

L - Perceção dos estudantes sobre a sua participação ativa nos processos de aprendizagem

M - Perceção dos estudantes sobre o desenvolvimento de competências de análise e reflexão crítica

N - Apreciação global dos estudantes sobre a sua própria prestação

Quanto aos motivos aduzidos para a não frequência das aulas, questão introduzida nos inquéritos dos dois últimos anos lectivos, os estudantes indicaram o facto de terem frequentado a unidade curricular em ano anterior e a incompatibilidade de horário.

Podendo haver fatores que de alguma forma mascarem os valores da tabela (e.g., respostas de estudantes com assiduidade reduzida, semestre com maior sobrecarga dos estudantes por fatores externos à disciplina. menor preparação global dos estudantes), e sendo visível uma apreciação global muito positiva nos anos letivos de 2012-2013 e 2018-2019 e menos positiva no ano letivo 2016-2017, os resultados podem ainda assim ser considerados globalmente

positivos, com a média de todos os indicadores superior a 4. Há no entanto que reconhecer alguma variabilidade dos resultados, para cada item avaliado nos diferentes anos letivos. A merecer reflexão é o julgamento dos estudantes sobre a carga de esforço exigida: em média, cerca de 52% consideram-na “moderadamente pesada” ou “excessiva”. Este facto impõe um cuidado acrescido na extensão e cumprimento do programa proposto no Capítulo 4 deste documento. Apesar de se tratar de uma avaliação direta da disciplina, também os docentes são indiretamente avaliados, pois os resultados daquela dependem em muito do desempenho destes. Nesta medida, é legítimo concluir que o corpo docente afeto a esta disciplina cumpriu satisfatoriamente as suas funções e objetivos.

Os resultados apresentados satisfazem o autor mas ao mesmo tempo aumentam a sua responsabilidade para o futuro. Porém, é sua expectativa que as alterações propostas neste relatório, nomeadamente em termos de programa, de metodologias de ensino e de critérios de avaliação, contribuam para uma melhoria dos indicadores.

Além dos inquéritos pedagógicos, cujos resultados apenas podem induzir modificações nos anos letivos seguintes, é intenção do autor aplicar nesta unidade curricular um sistema de “avaliação do funcionamento” da disciplina e de aferição do empenho dos estudantes e da taxa de esforço que lhes é requerida, o qual tem já posto em prática desde há alguns anos na unidade curricular de *Fenómenos de Transferência do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente*. Este sistema baseia-se na contabilização do número de horas que semanalmente cada estudante dedica realmente à disciplina, devidas não só à presença nas aulas mas também ao estudo individual e à realização de trabalhos. Para o efeito, os estudantes preenchem uma tabela distribuída no início do semestre e quinzenalmente entregam ao professor os registos efetuados. Assim, com a informação recolhida periodicamente é possível ao docente, num curto espaço de tempo, avaliar o esforço e empenho dos estudantes, verificar se a matéria está a ser acompanhada por estes e analisar se eventualmente é necessário alterar o ritmo e a metodologia de ensino, sem desvirtuar os objetivos fundamentais da unidade curricular.

7. BIBLIOGRAFIA DA UNIDADE CURRICULAR

A disponibilização aos estudantes dos diapositivos das aulas, sendo fundamental e um bom suporte para orientação no acompanhamento da matéria, comporta um risco: o de os alunos limitarem o estudo ao conteúdo dos diapositivos, comportamento que, de forma transversal a muitas unidades curriculares, se tem acentuado nos últimos anos, com impacto negativo na aprendizagem, e que urge portanto contrariar. De facto, este material, sendo de apoio e sobretudo para orientação da exposição da matéria nas aulas, é manifestamente insuficiente para uma adequada aquisição de conhecimentos e uma consistente e consolidada assimilação de conceitos, devendo por isso os estudantes recorrer à bibliografia indicada pelo(s) docente(s). No caso da unidade curricular em apreço, é possível encontrar diversos bons livros de apoio, mas é necessário evitar um excesso de informação que disperse os estudantes por várias fontes. Neste sentido, indicam-se na “bibliografia recomendada” dois livros que, de forma simples e transversal, cobrem o processo de *papermaking*. Além destes, para um estudo mais detalhado e direcionado, aconselha-se a consulta de alguns volumes da enciclopédia *Papermaking Science and Technology*, especificando para cada capítulo da matéria qual o respetivo volume mais adequado. Ainda assim, a fim de orientar os estudantes e dada a extensão e profundidade dos assuntos abordados em cada volume da enciclopédia, o docente indicará ao longo das aulas quais os capítulos/secções que merecem consulta. São ainda incluídas na lista de bibliografia recomendada algumas normas, de modo a facultar aos estudantes documentação de suporte que sistematiza a informação relacionada com vocabulário, nomenclatura, classificação de produtos papéis e propriedades. Com o mesmo objetivo, são dadas duas referências como “netgrafia”.

Já a “bibliografia complementar”, especialmente direcionada para os estudantes mais empenhados, inclui outros livros que permitem melhor aprofundar os conhecimentos. A existência de livros de texto como os listados na bibliografia (e outros que se poderiam indicar) torna dispensável a referência a artigos de revistas indexadas ou de atas de conferências. Todavia, a consulta de fontes bibliográficas desta natureza é necessária se os alunos optarem pelo modelo de avaliação que inclui uma monografia, situação na qual o docente dará indicação de títulos de revistas, não só específicas da área, ou afins (*Cellulose, Nordic Pulp & Paper Research Journal, Bioresources, TAPPI, ...*) mas também outras onde a pesquisa deverá incidir.

7.1 Bibliografia recomendada

- Gullichsen, J., Paulapuro, H. (Series Eds). 1998-2002. Papermaking Science and Technology. 20 books series. Fapet Oy (in cooperation with the Finnish Paper Engineer's Association and TAPPI - Technical Association of Pulp and Paper Industry), Helsinki, ISBN 9525216004 (the series):
 - Book 3: Forest Products Chemistry, Stenius P. (Ed.) → (Cap. 2)
 - Book 4: Papermaking Chemistry, Neimo L. (Ed.) → (Cap. 4)
 - Book 7: Secondary Fiber and Deinking, Pakarinen, H., Gottsching, L. (Eds.) → (Cap. 11)
 - Book 8: Papermaking, Part 1: Stock Preparation and Wet End, Paulapuro, H. (Ed.) → (Cap. 6, cap. 7)
 - Book 9: Papermaking, Part 2: Drying, Karlsson, M. (Ed.) → (Cap. 8)
 - Book 10: Papermaking, Part 3: Finishing, Jokio, M. (Ed.) → (Cap. 9)
 - Book 11: Pigment Coating and Surface Sizing of Paper, Lehtinen, E. (Ed.) → (Cap. 4, Cap. 9)
 - Book 12: Paper and Paperboard Converting, Savolainen, A. (Ed.) → (Cap. 109)
 - Book 16: Paper Physics, Niskanen, K. (Ed.) → (Cap. 5)
 - Book 17: Pulp and Paper testing, Levlin, J-E. (Ed.) → (Cap. 2, Cap. 3, Cap. 5)
 - Book 18: Paper and Board Grades, Hynninen, P. (Ed.) → (Cap. 10, Cap. 11)
- Holik, H. (Ed.). 2013. Handbook of Paper and Board, 2 vol. 2nd Ed., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. ISBN 9783527331840.
- ISO 4046-1:2016 Paper, board, pulps and related terms -- Vocabulary -- Part 1: Alphabetical index
- ISO 4046-4:2016 Paper, board, pulps and related terms - Vocabulary - Part 4: Paper and board grades and converted products
- ISO 4046-5:2016 Paper, board, pulps and related terms -- Vocabulary -- Part 5: Properties of pulp, paper and board
- NP 582:1991 (2ª Edição). Pastas, papel, cartão e termos relativos. Terminologia.
- NP 3983:1990. Papel e cartão. Classificação dos papéis e cartões segundo o seu uso e características definidoras.
- UNE- EN 643:2014. Lista Europeia das Categorias Padronizadas de Papel e Cartão para Reciclar.
- Smook, G.A. 2016. Handbook for Pulp & Paper Technologists. 4th Ed., Kocurek, M. (Ed.), Tappi Press, USA. 3rd Ed., Angus Wilde Publications, Inc., Vancouver, 2002, ISBN 9780969462859.

7.2 Bibliografia complementar

- Casey, J. P. (Ed.). 1981. Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology, vol. 3. 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York, ISBN: 9780471031772.
- Eklund, D., Lindström, T. 1991. Paper Chemistry: An Introduction. DT Paper Science Publications, Grankulla, Finland, ISBN 9789529036066.
- Hubbe. M. 2007. Flocculation of Cellulose Fibers. BioResources 2(2): 296-331.

- Kargarzadeh, H., Ahmad, I., Thomas, S., Dufresne, A. (Eds.). 2017. Handbook of Nanocellulose and Cellulose Nanocomposites, 2 vol. Wiley-VCH (Verlag). GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany. ISBN: 9783527338665.
- Ek, M.; Gellerstedt, G.; Henriksson, G. (Eds.). 2009. Pulp and paper chemistry and technology, 4 vol. De Gruyter, Berlin, ISBN 9783110215700.
- Kipphan, H. 2001. Handbook of print media: technologies and production methods. Springer, Berlin, ISBN 3540673261.
- Sjostrom, E. 1993. Wood Chemistry - Fundamentals and Applications. 2nd Ed., Academic Press, London, ISBN 9780126474817.

7.3 Netgrafia

- <http://www.paperindex.com/resources/resourcesmain.aspx>
- http://www.internationalpaper.com/docs/default-source/english/company/regions/north-america/business-overview/glossary_solutions.pdf?sfvrsn=2

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Para a preparação deste relatório, além das referências indicadas na secção anterior, foi consultada a bibliografia que se lista de seguida (a netgrafia foi consultada em agosto de 2016 e em abril de 2017).

1. Boletim Estatístico – Indústria Papeleira Portuguesa. Ed. CELPA – Associação da Indústria Papeleira, 2015.
URL: http://www.celpa.pt/wp-content/uploads/2016/09/Boletim_WEB_2015.pdf
2. Key Statistics – European pulp & paper industry. Ed. CEPI – Confederation of European Paper industries. 2015.
URL:
<http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/statistics/2016/FINALKeyStatistics2015web.pdf>
3. McMurtrie, D. C. 1997. O Livro, 2nd Ed., Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. ISBN: 9789723102123
4. <http://www.celpa.pt>
5. <http://www.esf.edu/>
6. <http://www.pulpandpapercanada.com/paper-schools#sthash.M8bNiyIL.dpuf>
7. <http://www.paperonweb.com/school.htm#aa>
8. <https://www.puunjalostusinsinoot.fi/en/biometsateollisuus/oppilaitokset/>
9. Forest-based Sector Technology Platform - FTP Education and Training Group, ETG. Pulp & Paper Working Group report. 2009.
10. www.upc.edu/grau/es/200/grado-en-ingenieria-quimica-terrassa-eseiaat.pdf

11. http://www.upc.edu/master/fitxa_master.php?id_estudi=294&lang=es
12. www.montesymedionatural.upm.es/Estudiantes/EstudiosTitulaciones/Grado/GIF/Asignaturas%20y%20Gu%C3%ADas%20de%20Aprendizaje
13. <http://www.kth.se/student/kurser/kurs/KF2470?l=en>
14. <https://www.kau.se/en>
15. <https://www.kau.se/en/education/programmes-and-courses/programmes/all-programmes>
16. <http://www.abo.fi/fakultet/studierpaf>
17. <http://www.pp.hm.edu/studienangebot/masterstudiengang/mastertabelle.de.html>
18. <https://www.ipz.tugraz.at/index.php/wbPage/wbShow/mas>
19. <https://www.ipz.tugraz.at/index.php/wbPage/wbShow/Study%20Programme?lang=en>
20. http://pagora.grenoble-inp.fr/ingenieur/?RH=EFP_FOR-INGENIEUR
21. <http://www.esf.edu/catalog/pbe.asp#pe>
22. <http://www.esf.edu/catalog/pbe.asp#ps>
23. <https://oucc.dasa.ncsu.edu/cnr-15psebs-nosubplan-2131/>
24. <http://www.esf.edu/pbe/graduate/pse.asp>
25. <http://www.mcgill.ca/study/2016-2017/courses/chee-438>
26. <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=LCF0533>
27. <http://mamcyp.unam.edu.ar/index.php/maestria/cursos-creditos>
28. <http://www.biopria.com.au/index.php/education/courses>
29. http://www.iitr.ac.in/departments/DPT/pages/Pulp_and_Paper_Technology.html
30. <http://school.cucas.edu.cn/Guangxi-University-197/program/Pulp-and-Paper-Making-Engineering-23535.html>
31. <http://school.cucas.edu.cn/Kunming-University-of-Science-and-Technology-138/program/Pulp-and-Paper-Making-Engineering-17696.html>
32. <http://www.uc.pt/fctuc/deq/ensino/mieq>
33. Clark, J. d'A. (1985) – Pulp technology and treatment for paper, 2nd ed., Miller Freeman Publications, San Francisco.
34. https://www.dges.gov.pt/sites/default/files/relatorio_referenciacao_qnq_qeq.pdf
35. Mesquita, D. I.A., Flores, M.A., Lima, R.M. Contributos para uma Análise dos Planos Curriculares de Formação no Ensino Superior. O Caso da Engenharia e Gestão Industrial em Portugal. *In* Actas do 5º Congresso Ibérico Pedagogia para a Autonomia, Centro de Investigação em Educação - Instituto de Educação - Universidade do Minho (Eds.), Braga (Portugal), pp. 511-522. 2011. ISBN 978-989-8525-02-4

NOMENCLATURA

ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

AFM – Atomic Force Microscopy

APPITA - Technical Association of the Australian and New Zealand Pulp and Paper Industry

BS – British Standard

DLVO - Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek

EN - European Norm

ESCA - Electron Spectroscopy for Chemical Analysis

FBA – Fluorescent *Brightening* agents

FESEM - Field Emission Scanning Electron Microscopy

IPE – Instituto Papeleiro Espanhol

ISO – International Standard Organization

MIEQ – Mestrado Integrado de Engenharia Química

NP – Norma Portuguesa

OBA – Optical Brightening Agent

OWRK - Owens, Wendt, Rabel and Kaelble

SCAN – Scandinavian Standard

SEM – Scanning Electron Microscopy

TECNICELPA - Associação Portuguesa dos Técnicos das Indústrias de Celulose e Papel.

TAPPI- Technical Association of the Pulp and Paper Industry

ANEXOS

ANEXO A

Programa da unidade curricular de *Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel* (MIEQ, plano de estudos 2007-2011):

Estrutura e Propriedades da madeira e da fibra; Manuseamento e Preparação de Madeiras; Processos de Produção de Pasta; Branqueamento; Ciclos de recuperação de químicos e de energia; Reciclagem de fibras, destintagem e lavagem; Preparação da Pasta – Refinação; Aditivos não-fibrosos; Química da zona húmida; Formação e estrutura da Folha; Prensagem; Secagem; Tratamentos de Superfície; Transformação do Papel; Controlo da poluição na indústria de pasta e papel.

ANEXO B

Ensino de Ciência e Tecnologia do Papel em outras Escolas:

Tabela B.1 - Escolas / instituições com formação em “Papel” (*Paper Schools*) ao nível de 1º, 2º ou 3º ciclo, em todo o mundo.

País	Instituição de ensino	Fonte bibliográfica	Ano da informação
África do Sul	University of Kuazulu Natal	7	2011
Alemanha	Technical University of Darmstadt Institute of Paper Technology	6	2017
	University of Applied Sciences (MUAS) Department of Paper Science and Technology	17	2016
	Hamburg University of Technology (TUHH)	8	2011
	Technical University of Dresden	8	2017
	Baden-Wuerttemberg Cooperative State University of Karlsruhe	8	2017
Argentina	Universidad Nacional de Misiones Programa de Celulosa y Papel	27	2017
Austrália	University of Monash Department of Chemical Engineering	6, 28	2017
	University of Tasmania Pulp and Paper Research Group	6	2017
	Australian Pulp and Paper Institute	6	2017
Áustria	Technical University of Graz (TUGraz)	18, 19	2016
Brasil	Universidade de S. Paulo Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Química	26	2017
Canada	McGill University Pulp & Paper Research Centre	6, 25	2017
	University of British Columbia Pulp & Paper Centre	6	2017
	University of Quebec	6	2017
	University of Toronto Faculty of Applied Science & Engineering	6	2017
	McMaster University Centre for Pulp & Paper - Dep. of Chemical Engineering	7	2011
China	South China University of Technology	6	2017
	Kunming University of Science and Technology	31	2016
	Guangxi University	30	2016
	Nanjung Forestry University	9	2009
Egipto	Arab Paper Academy	7	2011
Eslováquia	University of Technology	7	2011
Espanha	Universitat Politècnica de Catalunya Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa – Dep. de Ingeniería Textil y Papelera	6, 10, 11	2016
	Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	12	2016
	Universidad de Vigo	9	2009
	Universidad de Sevilla	9	2009

Tabela B.1 (cont.)

País	Instituição de ensino	Fonte bibliográfica	Ano da informação
Espanha (cont.)	Universidad de Santiago de Compostela	9	2009
	Universidad de San Sebastian	9	2009
	Universidad de Valladolid	9	2009
Estados Unidos	Auburn University Pulp & Paper Research & Education Center	6, **	2017
	Alabama Southern Community College Center for Forestry	6	2017
	Mississippi State University Department of Forestry	7	2011
	Fox Valley Technical College Pulp and Paper Chemical Technology	6	2017
	Georgia Institute of Technology Institute of Paper Science and Technology	6,**	2017
	University of Maine Chemical Engineering Department	6,**	2017
	Miami University Paper Science & Engineering Department	6,**	2017
	University of Minnesota Department of Bio-based Products	6,**	2017
	Mississippi State University Department of Forestry	6	2017
	State University of New York Paper and Bioprocess Engineering Department	6, 21, 22, 24, **	2017
	North Carolina State University College of Natural Resources	6, 23,**	2017
	University of Texas Cellulose Electronic Network	6	2017
	Virginia Polytechnic Institute and State University Department of Wood Science & Forest Product	6	2017
	University of Washington College of Forest Resources	6,**	2017
	Virginia Tech Department of Sustainable Biomaterials	7	2011
University of Wisconsin Department of Paper Science	7,**	2011	
Western Michigan University Department of chemical and Paper Engineering	6,**	2017	
Finlândia	Abo Akademi	6, 16	2017
	Finish Pulp & Paper Research Institute	6	2017
	Helsinki University of Technology (TKK) – Aalto University Department of Forest Product Technology	6,*	2017
	Tampere University of Technology (TUT) Paper Converting Institute	6	2017
	Tampere University of Applied Sciences (TAMK)	6	2017
	University of Jyväskylä	6	2017
	University of Oulu	6	2017
	Lappeenranta University of Technology (LUT)	8	2017
	University of Helsinki-Aalto	8	2011

Tabela B.1 (cont.)

País	Instituição de ensino	Fonte bibliográfica	Ano da informação
França	Institut Polytechnique de Grenoble École internationale du papier, de la communication imprimée et des biomatériaux (Pagora)	6, 20	2016
	Centre Technique du Papier (CTP)	6	2017
Hungria	University of West Hungary Faculty of Wood Sciences	7	2011
	Budapest Polytechnical Institute	9	2009
Índia	Indian Institute of Technology Department of Paper Technology	7, 29	2011/17
Noruega	Norwegian University of Science and Technology (NTNU)	6	2017
Nova Zelândia	Pulp & Paper Research Organization (PAPRO)	6	2017
Polónia	Technical University of Lodz Institute of Paper Making & printing	6	2017
	Jagellonian University	8	2011
	Nicolaus Copernicus University	8	2011
Portugal	Universidade de Coimbra Departamento de Engenharia Química	30	2016
	Universidade de Aveiro Departamento de Química	Tab. 2	2016
	Universidade de Lisboa Instituto superior de Agronomia	Tab. 3, Tab. 4	2016
Reino Unido	University of Manchester <i>Institute of Science and Technology</i> (UMIST) Department of Paper Science	6	2017
	Institute of Packaging	6	2017
	Institute of Paper	6	2017
	Paper Industry Research Association (PIRA) International	6	2017
	Pulp & Paper Fundamental Research Society (FRC)	6	2017
República Checa	Institute of Chemical Technology	6	2017
Rússia	Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design	8	2017
Suécia	Kungliga Tekniska Hogskolan (The Royal institute of Technology) (KTH)	6, 13	2017
	Forestry Research Institute of Sweden	6	2017
	Swedish University of Agricultural Sciences Department of Forest Product	6	2017
	Swedish Pulp & Paper Research Institute	6	2017
	University of Karlstadt	15	2016
	Chalmers Technical School	7	2011
Uruguay	Universidad de la República	9	2009

** - Membros da *Pulp and Paper Education and Research Alliance* (PPERA)

Tabela B.2 – Mestrado universitário em “*Ingeniería Textil y Papelera*” da Universidade Politécnica da Catalunha (3 trimestres) (Espanha) (11 (abril 2017)].

Unidade Curricular	Tipo	ECTS
Avances en fibras textiles	OB	5
Hilados, filamentos, y teles no tejidas	OB	5
Colorimetría, colorantes y pigmentos	OB	5
Materiales fibrosos para la fabricación de productos papeleros	OB	5
Tecnología de la fabricación de productos papeleros	OB	10
Tecnología de la impresión	OB	5
Metodología de la investigación	OB	5
Diseño y planificación de experimentos	OB	5
Estructuras tejidas avanzadas	OB	5
Gestión ambiental y sostenibilidad en la industria textil	OB	5
Tecnología de los procesos de obtención de fibras celulósicas	OB	5
Caracterización experimental del refinado de fibras celulósicas	OB	5
Detergencia y productos auxiliares	OP	5
Técnicas avanzadas de análisis química instrumental	OP	5
Innovaciones funcionales en acabados textiles	OP	5
Gestión ambiental y sostenibilidad en la industria textil	OP	5
Investigación de mercados	OP	5
Biotecnología aplicada a los procesos papeleros	OP	5
Física del papel y evaluación de las propiedades de productos papeleros	OP	5
Conversión y transformación de productos papeleros	OP	5
Simulación y fisicoquímica en la fabricación de productos papeleros	OP	5
Trabajo de fin de máster	PR	15
Total de ECTS		90

OB – Obrigatória; OP – Opcional; PR – Projeto.

Tabela B.3 – Conteúdos de algumas disciplinas do Mestrado em “Ingeniería Textil, y Papelera” da Universidade Politécnica da Catalunha (Espanha) [11 (agosto 2016)].

Unidade Curricular	Conteúdos
<p><i>Materiales Fibrosos para la Fabricación de Productos Papeleros</i></p> <p>5 ECTS 45 h de contacto Obrigatória</p>	<p>Introducción. Fuentes de fibras vegetales; Estructura de la madera; La fibra vegetal; Características morfológicas y identificación de las pastas de coníferas y frondosas; Características morfológicas y identificación de las pastas procedentes de materiales no madereros; Composición química y estructura de la fibra celulósica; Blanqueo de pastas.</p>
<p><i>Tecnología de la fabricación de productos papeleros</i></p> <p>10 ECTS 45 h de contacto Obrigatória</p>	<p>Introducción a la fabricación del papel; Circuitos de preparación para pastas vírgenes; Circuitos de preparación para papel recuperado; Circuitos de cabeza de máquina; Sistemas de formación de la hoja; Físico-química de la formación de la hoja; Prensado húmedo; Secado del papel; Final de la máquina de papel y tratamientos físicos de la hoja seca; Tratamientos físico-químicos de la hoja seca; Reducción del impacto ambiental de la fabricación de papel.</p> <p>Prácticas: balances de materia en el proceso de fabricación del papel; determinación del potencial electrocinético; determinación de la demanda catiónica; cálculo de las características del aire húmedo; balances de materia y energía en el proceso de secado del papel; tratamientos superficiales; accionamiento de las máquinas de papel; estudio del impacto ambiental de un proceso productivo; Visitas a fábricas.</p>
<p><i>Física del Papel y Evaluación de las Propiedades de Productos Papeleros</i></p> <p>5 ECTS 45 h de contacto Opcional</p>	<p>Características del papel como estructura fibrosa; Interacciones entre el papel y la humedad; Propiedades básicas del papel; Estructura porosa del papel; Flujo de fluidos a través del papel; Lisura y Rugosidad; Propiedades de resistencia del papel: Comportamiento del papel a la tracción; Otras propiedades de resistencia del papel; Propiedades de resistencia del papel: Rigidez; Propiedades ópticas del papel: Conceptos básicos; Propiedades ópticas del papel: Factores de reflectancia.</p> <p>Propiedades ópticas del papel: Medida y evaluación instrumental.</p> <p>Propiedades ópticas: Difusión de la luz en el papel.</p> <p>Prácticas: propiedades estruturais, físicas e mecânicas do papel.</p>
<p><i>Conversión y transformación de productos papeleros</i></p> <p>5 ECTS 45 h de contacto Opcional</p>	<p>Introducción a la encuadernación; Operaciones elementales de transformación del papel; Encuadernación en rústica. Maquinaria empleada; Encuadernación en tapa dura. Maquinaria empleada; Introducción a la fabricación del cartón ondulado; Fabricación del cartón ondulado; Transformación de la plancha de cartón ondulado; Caracterización de los papeles para la fabricación de cartón ondulado; Caracterización del cartón ondulado.</p>
<p><i>Simulación y fisicoquímica en la fabricación de productos papeleros</i></p> <p>5 ECTS 45 h de contacto Opcional</p>	<p>Introducción a la simulación; Simulador de procesos papeleros CADSIM; Módulos de simulación de CADSIM; Intercambio de datos; Aditivos Funcionales; Aditivos de control.</p> <p>Prácticas: manual de CADSIM; sistema de tina y sistema de depuración; intercambio de datos; cuadro de parámetros; aplicación de aditivos funcionales; aditivos de control.</p>

Tabela B.4 – Formação na área do “Papel” na Universidade de Karlstadt (Suécia), no âmbito dos mestrados em *Engenharia Química* e em *Engenharia Industrial e Gestão* [15 (agosto 2016)].

Unidade Curricular	Objetivos / conteúdos
<p>Pasta, Papel, Tratamentos de Superfície e Tecnologia Gráfica 15 ECTS</p>	<p>The aim of the course involves students gaining insight into production and use of pulp and paper. Coating, calendering and printing are treated along with the process equipment of pulping and paper making. The relation between raw material, process and product properties are important aspects of the course. Different testing methods for characterizing pulp and paper and printed materials are introduced.</p>
<p>Tecnologia do Papel Estudos avançados I* 7.5 ECTS</p>	<p>The course aims at students gaining a deepened as well as a broadened knowledge of paper technology. The emphasis will be on the mechanisms controlling important processes of paper making and paper converting. The course comprises paper optics and paper physics as well as testing methods for determining different properties of paper. Students will also learn how to find, use and evaluate scientific literature in the field of paper technology.</p>
<p>Tecnologia do Papel Estudos avançados II* 7.5 ECTS</p>	<p>Project work within paper technology. The student conducts a research project including literature studies, planning of the experimental work, data analysis and documentation (oral presentation as well as report writing) under supervision of one of the researchers working in this field.</p>

* Existem também as unidades curriculares de “*Tecnologia da Pasta - Estudos avançados I*” e “*Tecnologia da Pasta – Estudos avançados II*”, a funcionar no próximo ano letivo.

Tabela B.5 – Conteúdos de alguns módulos do Mestrado em “*Sciences du papier, communication imprimée & biomatériaux*” da Escola Pagora (França) [20 (agosto 2016)].

Ano	Unidade Curricular	Conteúdos
1	Fibres et papiers 6 ECTS	Physique du papier et des structures fibreuses; fibres et microscopie; Propriétés optiques des papiers
2	Genie des Procèdes d'Impression Ramo : Ingénierie de la Communication Imprimée 5 ECTS	Heliogravure; Offset; Flexographie; Procédés numériques; Sérigraphie
2	Energie & Procédés Ramo : Ingénierie de la Fibre et des Biomatériaux 1,2 ECTS	Energétique papetière
2	Génie des procédés papetiers Ramo : Ingénierie de la Fibre et des Biomatériaux 3,3 ECTS	Génie Papetier
2	Papier et Polymeres Ramo : Ingénierie de la Fibre et des Biomatériaux 3,3 ECTS	Mise en forme des polymères; Propriétés physiques des pâtes et papiers ; Structure et rhéologie des polymères
3	Thèse 60 ECTS	Biorefinery: bioenergye, bi productes et biomateriaux

Tabela B.6 – Disciplinas da área do papel dos cursos de bacharelato de *Ciência em Engenharia do Papel* e de *Ciência dos Materiais Renováveis* (opção de *Ciência do Papel*) do *Department of Paper and Bioprocess Engineering* da *State University of New York* (Estados Unidos) [21, 22 (abril 2017)].

Unidade Curricular	Créditos
<i>Ciência em Engenharia do Papel</i>	
Introduction to Papermaking	3
The Art and Early History of Papermaking	3
Pulp and Paper Laboratory Skills	1
Fiber Processing	3
Fluid Mechanics	3
Fiber and Paper Properties	3
Papermaking Processes	6
<i>Ciência do Papel</i>	
Introduction to Lignocellulosics	4
The Art and Early History of Papermaking	3
Renewable Materials and Composites from Lignocellulosics	3
Professional Writing/Paper & Bioprocess Engineering	2
Colloid and Interface Science	3
Fluid Mechanics	3

Tabela B.7 – Disciplinas da área do papel dos cursos de bacharelato de *Ciência e Engenharia do Papel* do *Department of Forest Biomaterials* da *North Carolina State University* (College of Natural Resources) (Estados Unidos) [23 (abril 2017)].

Unidade Curricular	Ano	Semestre	Créditos
Pulping & Papermaking Technology	1	2	3
Paper Properties	2	1	3
Pulping Process Analysis	2	2	3
Pulp & Paper Internship	3	1	1
Wet End/Polymer Chemistry	3	1	4
Pulp & Paper Unit Processes I	3	1	3
Pulp & Paper Unit Processes II	3	2	3
Wood & Pulping Chemistry	3	2	3
Paper Industry Strat. Proj. Analy.	4	1	3
Paper Physics & Product Design	4	2	3
Paper Process Analysis	4	2	3

Tabela B.8 – Conteúdos das unidades curriculares do curso de Bacharel em Engenharia da Pasta e do Papel do Departamento de Tecnologia da Pasta e do Papel (Instituto Indiano de Tecnologia) [29 (abril 2017)].

Ano	Unidade Curricular	Conteúdos
2	Introduction to Pulp and Paper Manufacturing 4 Créditos	Fibrous Raw Materials for Paper Making; Raw Material Structure; Chemistry of Fibrous Raw Materials; Preparation of Fibrous Raw Material; Pulping and Recovery
3	Papermaking I 4 Créditos	Refining; Sizing; Strength Additives; Fillers and Dyes; Control Chemicals at the Wet End; Approach Flow System; Sheet Structure; Wet End of Paper Machine; Stock and White Water Systems;
3	Papermaking I 4 Créditos	Wet Pressing; Drying: Surface Sizing; Yankee Dryers; Calendering and Super calendering; Winding; Broke Systems; Cross-Direction Control; Paper Machine Showers and Doctors; Drives; Paper Machine Vacuum Systems; Paper Machine Clothing; Paper Machine Corrosion, Vibrations and Safety:
4	Printing and Packaging Papers 3 Créditos	Printing, Pigment Coating; Packaging, Converting,

ANEXO C

Protocolos de trabalhos de laboratório e procedimentos de ensaio em laboratório

Protocolos:

Protocolo 1 - Avaliação da influência do tipo de fibra nas propriedades do papel

Protocolo 2 - Avaliação da influência de agentes de retenção na drenabilidade, na retenção de cargas e nas propriedades do papel

Protocolo 3 - Avaliação da influência de agentes de colagem interna e de resistência na retenção de cargas e nas propriedades do papel

Protocolo 4 - Avaliação da influência do grau de refinação na drenabilidade e nas propriedades do papel

Protocolo 5 - Avaliação de tratamentos de superfície de papéis de escritório na rugosidade, topoquímica e propriedades de impressão do papel

Procedimentos de ensaio:

Procedimento 1 - Refinação de pastas

Procedimento 2 - Medição da drenabilidade de pastas

Procedimento 3 - Formação de folhas de laboratório (sem e com aditivos)

Procedimento 4 - Medição das propriedades do papel

Procedimento 5 - Determinação do teor de cargas minerais no papel

Procedimento 6 - Testes de drenabilidade e retenção no DDA

Procedimento 7 - Revestimento de papel em laboratório

Procedimento 8 - Topoquímica do papel

Nas páginas seguintes é apresentado o protocolo 2 e os procedimentos 1 a 6.

ANEXO C

Protocolo 2 - Avaliação da influência de agentes de retenção na drenabilidade, na retenção de cargas e nas propriedades do papel

Objetivo – Avaliar a influência de agentes de retenção na drenabilidade, na retenção de cargas e nas propriedades do papel

Documentos de suporte – Procedimentos de ensaio 2 (Medição da drenabilidade de pastas), 3 (Formação de folhas de laboratório (sem e com aditivos)), 4 (Medição das propriedades do papel), 5 (Determinação do teor de cargas minerais no papel) e 6 (Testes de drenabilidade e retenção no DDA).

Introdução

A fim de evitar a perda de fibras de reduzidas dimensões (finos) e de cargas minerais usadas como *fillers*, são usados no fabrico de papel agentes de retenção, designadamente polímeros solúveis em água, naturais e sintéticos, e ainda micropartículas, os quais promovem a floculação por neutralização de carga, por ponte (*bridging*), por mosaico (*patching*) ou por uma combinação destes mecanismos, em sistemas simples ou duais. São exemplos a polietilenimina, as poliaminas, as poliacrilamidas, o amido catiónico e sais de amónio como o cloreto de poli-dialildimetilamónio (poli-DADAMAC). Neste trabalho serão usados o amido catiónico (que também funciona como agente de resistência em seco) e uma poliacrilamida catiónica de elevado peso molecular.

Material

- Copo de plástico com tampa
- Balança analítica
- Copos de vidro de 800, 600, 400 e 25 mL
- Espátula
- Micropipetas (e pontas de plástico) de 100, 1000 e 5000 µL
- Pipeta de Pasteur de plástico descartável
- Barras magnéticas
- Cadinhos de porcelana
- Papel mata-borrão
- Balde de 10 L

Reagentes

- Água destilada e desmineralizada
- Pasta de eucalipto obtida pelo processo *kraft*, branqueada, previamente refinada e nunca seca (com um grau de Schopper-Riegler de aproximadamente 30)
- Carbonato de cálcio precipitado (seco)
- Amido catiónico
- Sulfato de zinco
- Enzima α -amilase
- Anidrido alquenil-succínico (ASA)
- Agente de retenção: poliacrilamida linear catiónica de designação comercial “Percol®”

Equipamento

- *Dynamic Drainage Analyzer* (DDA)
- Banho de ultra-sons
- Desintegrador
- Esmaltadeira
- Formador de folhas
- Prensa
- Placas de aquecimento e agitação magnética
- Sala condicionada a 23 ± 2 °C e 50 ± 2 %HR, equipada para caracterização de folhas laboratoriais
- Mufra
- Estufa

Procedimento Experimental

1. Efetuar ensaios de drenabilidade e retenção no DDA de acordo com o estabelecido no procedimento 6.
2. Fazer folhas laboratoriais de acordo com o procedimento 3. Preparar folhas com e sem agente de retenção. Nos testes sem agente de retenção, a quantidade de fibra é proporcionalmente aumentada.
3. Caracterizar as folhas produzidas de acordo com o procedimento 4.
4. Aproveitar todos os restos das folhas para determinar o conteúdo de cargas minerais presente nas amostras, de acordo com o procedimento 5.

Relatório

No relatório, claro e conciso, devem ser considerados os seguintes aspetos:

1. Comparar as curvas de drenagem das pastas sem e com agente de retenção, bem como o teor de cargas após a formação do bolo, a partir dos resultados obtidos no DDA.
2. Comparar as seguintes propriedades das folhas secas, produzidas sem e com agente de retenção, após condicionamento das mesmas: gramagem, massa volúmica, índice de mão, índice de tração, índice de rasgamento e coeficiente de dispersão da luz.
3. Comparar a retenção de cargas no processo de formação das folhas laboratoriais sem e com agente de retenção.
4. Concluir quanto à eficácia do agente floculante no sistema estudado
5. Tendo em conta as características do polímero usando como agente floculante, e os princípios teóricos do Capítulo 4, propor um mecanismo para a floculação.

ANEXO C

Procedimento 1 - Refinação de Pastas

Local de realização: Laboratório Tecnológico do Instituto RAIZ

1. Preparativos

- 1.1 Recolher para um balde cerca de 8 L de água desmineralizada e desta retirar uma amostra para medir o pH; o valor deve situar-se, depois de estabilizado (cerca de 30 minutos) entre 5.8 e 6.5
- 1.2 Tirar o saco do cozimento do frigorífico e esperar 15 min antes de abrir para a água condensada ser absorvida pela pastas
- 1.3 Codificar devidamente a amostra e anotar a humidade e, se possível, temperatura ambiente

2. Desintegração da pasta e formação do bolo

- 2.1 Pesar, num copo de pelo menos 1000 ml, 30 g de pasta seca, sabendo a respetiva humidade (H, %): $\text{peso} = (30 \cdot 100) / (100 - H)$
- 2.2 Anotar o valor realmente pesado
- 2.3 Adicionar 1 L de água desmineralizada e verter para o desintegrador
- 2.4 Adicionar mais 1 L água desmineralizada para arrastar o resto da pasta que ficou no copo para dentro do desintegrador
- 2.5 Desintegrar a 30000 rot., carregando no botão vermelho do desintegrador para marcar 1200 rpm ($1200 \cdot 25 = 30000$)
- 2.6 Verificar que o copo de desintegração está em contacto com o sensor posterior
- 2.7 Carregar no botão amarelo para iniciar a desintegração
- 2.8 Depois de verificar que a torneira da água desmineralizada está ligada, lavar a teia do formador de folha e depois o formador de folha, premindo o botão azul; após a carga, a agitação, a decantação e a drenagem, interromper a lavagem premindo o botão vermelho
- 2.9 Colocar a amostra de pasta desintegrada com o aparelho desligado (arrastar a suspensão com água desmineralizada)
- 2.10 Adicionar água desmineralizada do balde até ao sensor situado no topo do formador de folha, para iniciar a agitação
- 2.11 Desligar o aparelho após a agitação, a decantação e a drenagem suficiente para o bolo formado perder muita da água.
- 2.12 Limpar um disco, pesá-lo na balança e tarar a balança

- 2.13 Elevar o formador de folha e, com a ajuda da mão, remover o bolo formado para o disco
- 2.14 Pesar o disco com o bolo de pasta; o peso deverá ser ± 300 g; se for inferior, adicionar água desmineralizada com a ajuda de um esguicho; se for superior, prensar o bolo de encontro ao disco para eliminar água
- 2.15 Anotar o peso real do bolo

3. Refinação

- 3.1 Ligar o refinador PFI rodando a chave para a posição ON
- 3.2 Subir a tampa, rodando o botão preto para cima e carregando no botão lateral, de ambos os lados
- 3.3 Limpar o carter do refinador com papel e as lâminas do rotor com um esguicho
- 3.4 Carregar o refinador, preenchendo toda a parede lateral de forma uniforme
- 3.5 Pôr o carter do refinador a rodar (botão verde) e com os dedos uniformizar a camada de bolo distribuída pela sua parede lateral
- 3.6 Desligar o carter (botão vermelho)
- 3.7 Descer o rotor para o interior do carter, rodando o botão preto para baixo e carregando no botão lateral, de ambos os lados
- 3.8 Molhar com água destilada a borracha exterior do carter
- 3.9 Fechar a tampa com cuidado, fazendo pressão, e confirmar que está bem fechada
- 3.10 Pôr o “carter” a rodar e depois o rotor
- 3.11 Pôr a zero o contador de rotações, pressionando o botão
- 3.12 Subir a alavanca de deslocação do rotor, devagar até se sentir e ouvir o contacto do rotor com as paredes do carter; largar de imediato o botão do contador para iniciar a contagem das rotações
- 3.13 Refinar até ao número pretendido de rotações (ex: 2000 rot.), baixando de imediato a alavanca de deslocação do rotor
- 3.14 Subir o rotor, rodando o botão preto para cima e carregando no botão lateral, de ambos os lados; deslocar o rotor para o lado
- 3.15 Remover a pasta das paredes do carter com a ajuda de uma espátula
- 3.16 Adicionar à pasta removida a pasta que fica nas lâminas do rotor, com água destilada de um esguicho
- 3.17 Guardar devidamente a pasta ou colocar num bale com 8 L de água

ANEXO C

Procedimento 2 - Medição da drenabilidade de pastas

Local de realização: Laboratório Tecnológico do Instituto RAIZ

- 1 Preparativos
 - 1.1. Pesar num copo de -1000mL, 30 g de pasta seca, sabendo a respetiva humidade ($\text{peso}=30 \cdot 100 / (100-H)$).
 - 1.2. Adicionar 1L de água e verter para o desintegrador, lavando o copo com mais -1L de água.
 - 1.3. Desintegrar a 30000 rot., carregando no botão vermelho do desintegrador para marcar 1200 rpm ($1200 \cdot 25=30000$)
 - 1.4. Verificar que o copo de desintegração está em contacto com o sensor posterior
 - 1.5. Carregar no botão amarelo para proceder à desintegração
 - 1.6. Colocar a fibra desintegrada num balde e adicionar água até perfazer 8 L

- 2 Determinação da consistência (ensaio em triplicado)
 - 2.1 Usar uma proveta de plástico 500 ml, devidamente lavada
 - 2.2 Pesar a proveta e tarar a balança
 - 2.3 Homogeneizar muito bem a suspensão de 8 L de pasta e colocar 500 ml na proveta
 - 2.4 Pesar a proveta com a suspensão e anotar o peso na folha de registo
 - 2.5 Fazer uma folha com a suspensão pesada:
 - 2.5.1 Depois de verificar que a torneira da água desmineralizada está ligada, lavar a teia do formador de folha e depois o formador de folha, premindo o botão azul; após a carga, a agitação, a decantação e a drenagem, interromper a lavagem premindo o botão vermelho
 - 2.5.2 Introduzir água no formador de folha, premindo o botão azul; antes de a água chegar ao sensor adicionar os 500 ml de suspensão; arrastar a pasta residual com água destilada da torneira
 - 2.5.3 Após a agitação, a decantação e a drenagem suficiente para a folha formada perder muita da água, levantar o formador de folha
 - 2.5.4 Pôr 2 mata-borrões em cima da folha formada e a chapa metálica por cima dos mata-borrões

- 2.5.5 Aplicar pressão, premindo no botão amarelo
 - 2.5.6 Remover o disco e o mata-borrão superior e pôr o conjunto mata-borrão+folha de pasta a secar na esmaltadeira
 - 2.5.7 Ao fim de algum tempo na esmaltadeira, remover a folha de pasta do mata-borrão e deixá-la a secar mais um pouco
 - 2.5.8 Colocar um disco por cima da folha de pasta para ver se está completamente seca; se não estiver, ocorre condensação de água na superfície do disco
 - 2.5.9 Quando a folha de pasta estiver completamente seca, introduzi-la rapidamente no copo de plástico
 - 2.5.10 Rapidamente pesar na sala de pesagens o copo fechado com a folha; tarar a balança; tirar a folha de dentro do copo; fechar o copo e voltar a pesá-lo, vazio; o valor negativo fornecido pela balança é o do peso da folha de pasta
 - 2.5.11 Anotar na folha de registo o peso da folha de pasta
 - 2.6 Repetir todos os passos de 4.5 para mais 2 folhas de pasta
 - 2.7 Calcular para cada ensaio a consistência: $\text{consistência (\%)} = (\text{peso seco} \cdot 100) / \text{peso da suspensão}$
 - 2.8 Calcular a média da consistência dos 3 ensaios (%) e anotar na folha de registo
 - 2.9 Calcular a média da consistência dos 3 ensaios (g/l): $\text{consistência (g/l)} = \text{consistência (\%)} \cdot 10$; anotar na folha de registo
- 3 Determinação do grau Schopper Riegler ($^{\circ}\text{SR}$) (ensaio em duplicado)
- 3.1 Verificar que as 2 torneiras do sistema estão ligadas;
 - 3.2 Verificar que o recipiente com a teia está vazio e limpo
 - 3.3 Verificar que todo o sistema está limpo
 - 3.4 Com o valor da consistência da suspensão efectuar os cálculos do volume necessário para se ter 2 g de pasta seca
 - 3.5 Anotar na folha de registo o valor exacto de suspensão para ter 2 g de pasta seca
 - 3.6 Anotar na folha de registo o valor de suspensão a medir (o mais próximo possível do valor exato)
 - 3.7 Homogeneizar bem a suspensão no balde de 8 L e retirar o volume indicado para uma proveta graduada 1000 ml
 - 3.8 Perfazer os 1000 ml da proveta com água destilada
 - 3.9 Medir a temperatura da suspensão na proveta e aquecer ou arrefecer a suspensão de modo a que a temperatura para a medição do $^{\circ}\text{SR}$ seja de 20°C

- 3.10 Agitar a proveta sem perder nada
- 3.11 Baixar o cone do medidor do °SR, com a alavanca
- 3.12 Verificar que a pressão hidráulica está, no mostrador, próximo do risco vermelho
- 3.13 Adicionar a suspensão de pasta ao copo do medidor do °SR, tapando o buraco do cone com o dedo
- 3.14 Esperar cerca de 5s
- 3.15 Elevar o cone do medidor do °SR, rodando a alavanca
- 3.16 Esperar que o líquido termine de escoar para as provetas graduadas
- 3.17 Na proveta de medição do °SR colocar um termómetro para medir a temperatura
- 3.18 O ensaio deve efetuar-se com a suspensão à temperatura de 20°C
- 3.19 Anotar o valor do °SR indicado na proveta, a temperatura da suspensão e o valor do °SR obtido após correção da temperatura
- 3.20 Repetir os passos 3.1 a 3.19 para nova medição
- 3.21 Anotar a média dos valores do °SR

ANEXO C

Procedimento 3 – Formação de folhas de papel em laboratório

Local de realização: Laboratório Tecnológico do Instituto RAIZ

Objectivo: folhas com 1,6 g para obter gramagem de 80g/m² (folha seca)

Aditivo	%	Quantidade (g)	Tempo de Contacto (s)
Fibra	78,86	1,262	300
PCC	20,00	0,320	300
Amido	1,00	0,016	180
ASA	0,12	0,002	180
Agente de retenção	0,02	0,00032	5

1. Preparação dos aditivos

1.1. Fibra

Suspensão de fibra: 30g de fibra refinada (base seca) em 8L de água

1.1.2. Pesar num copo de -1000mL, 30 g de pasta seca, sabendo a respectiva humidade (peso=30*100/(100-H)). Adicionar -1L de água e verter para o desintegrador, lavando o copo com mais -1L de água. Desintegrar a 1200rpm (carregar no botão vermelho para seleccionar a velocidade e no amarelo para iniciar)

Diluir a fibra desintegrada no balde até 8L.

1.2. PCC

1.2.1. Diluir a quantidade de PCC necessária para os ensaios numa suspensão de 1%.

1.2.2. Agitar com barra magnética durante 20 min.

1.2.3. Levar ao ultrassons durante 15min. Manter em agitação por 30min. antes da primeira utilização. Manter sempre em agitação após o tratamento.

Nota: tentar utilizar sempre a mesma velocidade de agitação e o mesmo tamanho de barra magnética entre gamas de ensaios.

1.3. Amido+ASA

- 1.3.1. Pesam-se 20g de amido (catiônico) e coloca-se num copo de 1000mL (previamente pesado com a barra magnética).
- 1.3.2. Juntam-se 800 mL de água desmineralizada previamente aquecida a 60°C, para facilitar a agitação e evitar que a suspensão forme gel.
- 1.3.3. Prolonga-se o aquecimento até 78°C e adiciona-se 10 µL de enzima (α-amilase) sempre sob forte agitação. Prolonga-se o aquecimento durante 5min para T=80°C.
- 1.3.4. Para terminar a reacção de conversão enzimática adiciona-se 3,3 mL de solução de sulfato de zinco, mantendo sempre a agitação. Aquece-se a suspensão até 90-92°C, mantendo a agitação a esta temperatura durante 15 min (cozimento do amido). No final arrefece-se até 80°C (agitação constante e vigorosa).
- 1.3.5. Adicionam-se 2g de ASA e mantém-se a mistura a 60/70°C.

1.4. Agente de retenção

- 1.4.1. Pesa-se 0,1g de Percol (num copo de 500mL previamente pesado)
- 1.4.2. Adicionam-se 100mL de água quente (40°C) sob forte agitação até o sólido dissolver totalmente. Adiciona-se a restante água para obter 400g de solução.

2. Análise das águas e condições de operação

2.1. Análise de águas pré e pós drenagem

- 2.1.1. Antes de começar a produção de folhas, analisar a água desmineralizada (torneira) e a água que entra no formador em termos de condutividade, pH e temperatura. Registrar.
- (2.1.2. Recolher duas amostras de água pós-drenagem por cada gama de folhas produzida (2ª e 10ª folha).)

2.2. Registo dos tempos do formador

- 2.2.1. Registrar os tempos do formador: tempo de enchimento, agitação, decantação e drenagem.

3. Produção de folhas laboratoriais

Lavar a teia e o formador premindo o botão azul (verificar se a torneira de água desmineralizada está aberta). Depois de lavado, interromper com o botão vermelho. Usar ainda ar comprimido para remover qualquer resíduo de PCC na teia e nos orifícios de ar no formador.

3.1. Determinação da consistência

- 3.1.1. Homogeneizar bem a suspensão de 8L de pasta e pesar numa proveta de 500mL. Registrar o peso.
- 3.1.2. Fazer uma folha com a suspensão da proveta: premir o botão azul para encher o formador de água e, antes de chegar ao sensor, colocar a suspensão de fibra. Rapidamente, lavar a proveta e colocar a água da lavagem no formador.
- 3.1.3. Após a agitação, a decantação e a drenagem, levantar o formador de folha e colocar 3 mata-borrões por cima da folha. Finalizar com a chapa metálica. Aplicar pressão, premindo no botão amarelo.
- 3.1.4. Remover o disco e os 2 mata-borrões superiores e pôr o conjunto mata-borrão+folha de pasta a secar na esmaltadeira
- 3.1.5. Ao fim de algum tempo na esmaltadeira, remover o mata-borrão e deixar secar a folha mais um pouco. Colocar um disco por cima da folha de pasta para ver se está completamente seca; se não estiver, ocorre condensação de água na superfície do disco. Quando a folha de pasta estiver completamente seca, introduzi-la rapidamente no copo de plástico
- 3.1.6. Rapidamente pesar na sala de pesagens o copo fechado com a folha e posteriormente apenas o copo fechado.
- 3.1.7. Repetir todos os passos para mais 2 folhas de pasta
- 3.1.8. Calcular a média dos 3 pesos e determinar o peso a retirar de fibra:

$$\text{Peso fibra} = (1,262 \times 500) / (\text{média 3 pesos})$$

3.2. Formação de folhas para testes físicos

- 3.2.1. Premir o botão azul do formador para encher de água e parar com o botão vermelho quando estiver a $\frac{3}{4}$ da altura.
- 3.2.2. Num copo de 500ml, agitar a fibra (peso calculado em 2.1.8) com o PCC (retirar com micropipeta). Iniciar o temporizador.
- 3.2.3. Uma vez que o amido está a 60°C e existe evaporação, é necessário pesar a suspensão de amido/ASA e calcular a quantidade a adicionar:
Quantidade = (Peso actual - peso copo) x 0,0158 / (20 - nº de adições anteriores x 0,016)
Nota: 0,0158 = (1,262 x 0,05) / 4
- 3.2.4. Ao fim de 2min., introduzir a mistura Amido/ASA com a micropipeta.
- 3.2.5. Ao fim de 4m.30s. colocar o Percol com a micropipeta e ao fim de 5s., retirar a barra magnética e levar a mistura Fibra+PCC+Amido+ASA+Percol ao formador, lavando o copo e introduzindo a água lavada.

- 3.2.6. Após a agitação, decantação e drenagem, abrir o formador, colocar 1 mata-borrão novo por cima da folha e 1 mata-borrão usado e a chapa metálica por cima deste. Aplicar pressão (botão amarelo).
- 3.2.7. Retirar a chapa metálica e o mata-borrão superior e colocar o conjunto folha+mata-borrão na máquina de prensagem.

3.3. Prensagem/Sala Condicionada

- 3.3.1. Colocar 2 mata-borrões usados mas em bom estado na base da máquina de prensagem. Colocar as folhas produzidas como explicado em 2.2.6.
- 3.3.2. Terminar a pilha com 2 folhas de mata-borrão usado
- 3.3.3. Colocar a placa superior da prensa em cima da pilha e apertar em cruz
- 3.3.4. Prensar a pilha de folhas durante 5 minutos (1º ciclo da máquina). No final dos 5 minutos remover a pilha.
- 3.3.5. Colocar 2 mata-borrões usados na base da máquina de prensagem. Colocar um disco metálico da pilha e a respectiva folha em cima dos mata-borrões e, em cima deste, um outro mata-borrão novo e um outro disco com a respectiva folha de pasta
- 3.3.6. Repetir o passo anterior para todos os discos da pilha inicial.
- 3.3.7. Prensar a nova pilha de folhas durante 2 minutos (2º ciclo da máquina). No final dos 2 minutos remover a pilha
- 3.3.8. Colocar os discos metálicos e as correspondentes folhas nos anéis de secagem da sala condicionada. Colocar a pilha de anéis junto à ventoinha
- 3.3.9. No final da secagem (pelo menos 3 dias), separar cada folha dos respectivo disco e pôr a condicionar na sala.

ANEXO C

Procedimento 4 - Medição de propriedades físico-mecânicas do Papel

Local de realização: Laboratório Tecnológico do Instituto RAIZ

Local de realização: Laboratório Tecnológico do Instituto Raíz

1 Preparativos

- 1.1 Verificar junto do analista se a sala está em condições de humidade e temperatura adequadas ao ensaio: humidade relativa = $50\% \pm 2$; temperatura = $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- 1.2 Registar na folha de registo a data, a temperatura e a humidade da sala, o nº do cozimento, o código atribuído
- 1.3 Confirmar que as folhas, depois de retiradas da ventoínha, estiveram o tempo suficiente a condicionar
- 1.4 Verificar que todos os aparelhos a utilizar estão ligados, nomeadamente balança, micrómetro, *Gurley*, medidores de tracção, rebentamento e rasgamento, *zero-span* e *Elrepho*

2 Propriedades Ópticas

- 2.1 Seleccionar, de entre as folhas formadas, 8 folhas que pareçam em melhor estado
- 2.2 Calibrar o Elrepho, seguindo o procedimento indicado em documento interno do Raíz, que está junto ao aparelho (Programa 0)
- 2.3 Introduzir no aparelho o nº de leituras pretendido (8 se se forem analisar 8 folhas), premindo:
 - 2.3.1 Prog. B + Amarelo
 - 2.3.2 Número desejado (8)
 - 2.3.3 Amarelo
 - 2.3.4 Amarelo (para confirmar que o nº pretendido foi correctamente introduzido)
 - 2.3.5 Amarelo
- 2.4 Seleccionar Prog. 9 para medir o coeficiente de dispersão de luz
- 2.5 Colocar cilindro preto com o orifício para cima

- 2.6 Usar 1 folha de cada vez, com a face brilhante para baixo, e premir no botão amarelo
- 2.7 Repetir o passo anterior até que todas as folhas (8) estejam medidas
- 2.8 Retirar o cilindro preto
- 2.9 Juntar todas as folhas (8) num maço, com a face brilhante para baixo
- 2.10 Premir o botão amarelo
- 2.11 Repetir o passo anterior rodando as folhas no maço (a 1ª passa para baixo e assim sucessivamente), até que todas as folhas tenham sido rodadas
- 2.12 Ler o coeficiente específico de dispersão da luz (CEDL) e o coeficiente de absorção
- 2.13 Ler a reflectância e o tom amarelado (*yellowness*) seleccionando o programa 7
- 2.14 Ler a opacidade seleccionando o programa 8
- 2.15 Terminar as leituras voltando a seleccionar o programa 9
- 2.16 Anotar todos os valores obtidos na folha de registo

3 Gramagem das folhas

- 3.1 Pesar 6 folhas
- 3.2 Verificar se o peso do conjunto de 6 folhas está situado no intervalo indicado no tampo da balança; se não estiver substituir algumas das folhas até se obter o peso adequado
- 3.3 Calcular a gramagem (g/m^2) e anotar na folha de registo

4 Espessura, da Massa volúmica e do Índice de mão

- 4.1 Juntar 5 folhas num maço e medir a espessura do maço em 5 pontos diferentes, com a face lisa para cima: centro+norte+sul+este+leste
- 4.2 Calcular a média da espessura do maço (μm), a espessura média de uma só folha (μm), a massa volúmica (kg/m^3) e o índice de mão (*bulk*) (cm^3/g)
- 4.3 Anotar os valores obtidos na folha de registo

5 Permeabilidade ao Ar (Gurley)

- 5.1 Utilizar no mínimo 2 folhas, medindo cada folha em 4 pontos (norte+sul+este+leste), com a face brilhante para cima
- 5.2 Levar o contador de tempo a zero
- 5.3 Para efectuar uma leitura colocar a folha de pasta, com o cilindro preso em cima
- 5.4 Baixar a alavanca para prender a folha na zona de medida

- 5.5 Soltar o cilindro devagar de modo a não extravasar óleo
- 5.6 Efectuar a leitura e anotar na folha de registo
- 5.7 Elevar devagar o cilindro e prendê-lo
- 5.8 Levantar a alavanca de modo a aliviar a pressão sobre a folha
- 5.9 Mudar a posição da folha
- 5.10 Repetir os passos 5.2 a 5.9
- 5.11 Efectuar uma primeira leitura a 100 ml; se o escoamento for demasiado rápido, alterar para 200 ml; se for demasiado lento alterar para 50 ml
- 5.12 No final, verificar se alguma das leituras se deve desprezar
- 5.13 Calcular o valor médio das leituras, tendo em atenção que, para uma unidade de s/100 ml, se deve duplicar o valor da leitura se esta foi feita a 50 ml ou reduzir a metade se foi feita a 200 ml
- 5.14 As folhas usadas para o ensaio *Gurley* podem ser utilizadas em qualquer outro ensaio

6 Permeabilidade ao Ar e Macieza (Bendtsen)

- 6.1 Utilizar no mínimo 2 folhas, medindo cada folha em 4 pontos (norte+sul+este+leste), com a face brilhante para cima e para baixo, alternadamente
- 6.2 Ligar o aparelho e colocar o peso no spin, a rodar (de início o peso 150)
- 6.3 Premir o provete e efectuar a leitura, anotando na folha de registo
- 6.4 Se o pêndulo estiver nos extremos da escala, é necessário alterar a escala da leitura
- 6.5 Se o peso 150 não permitir efectuar leituras é necessário substituí-lo pelo de 75, multiplicando o valor final da leitura por 2, ou substituí-lo pelo de 225, dividindo o valor final da leitura por 2
- 6.6 As folhas usadas para o ensaio *Bendtsen* não podem ser utilizadas em qualquer outro ensaio (o ensaio *Bendtsen* é destrutivo)

7 Preparação dos provetes para os ensaios mecânicos

- 7.1 Juntar 8 folhas num macete e cortar na guilhotina verde, alinhando o macete pelo traço vermelho da guilhotina
- 7.2 Pegar em 6 metades interiores e cortar 2x6 tiras na guilhotina verde; colocar as 12 tiras junto ao aparelho de ensaios de tracção
- 7.3 Colocar o que sobra das 6 metades depois de cortar as tiras junto ao aparelho de ensaios de rebentamento

- 7.4 Pegar nas 8 metades exteriores, formar 2 macetes de 4 folhas e cortar na guilhotina pequena para os ensaios de rasgamento; colocar os 8 provetes assim obtidos junto ao aparelho de rasgamento
- 7.5 Pegar nas restantes 2 metades interiores e cortar 2 tiras para o ensaio do *Scott*; no caso de não se pretender realizar o ensaio do *Scott*, pegar nestas restantes 2 metades interiores e, utilizando a guilhotina pequena, cortar rectângulos para o ensaio do *zero-span*
- 7.6 Com a guilhotina pequena, cortar mais rectângulos para o ensaio do *zero-span* utilizando o resto das folhas, de modo a que no total se obtenham 14 rectângulos
- 7.7 Colocar os rectângulos junto ao aparelho do *zero-span*

8 Ensaio de Tracção

- 8.1 Confirmar que o ar comprimido está ligado
- 8.2 Seleccionar o programa PF 2 - 1 (também para medir o *tensile stiffness*)
- 8.3 Seleccionar a velocidade 12 mm/min
- 8.4 Colocar uma tira e efectuar a medição
- 8.5 Se o tempo de ensaio não pertencer ao intervalo $5 < t < 30$ é necessário escolher uma nova velocidade
- 8.6 Colocar uma segunda tira e desprezar a medição apenas se $t < 5$ ou $t > 30$ ou se a tira de papel partir muito junto a uma das garras; se não se desprezar, premir OK
- 8.7 Colocar nova tira e repetir a passo anterior até que estejam medidas as 12 tiras
- 8.8 Retirar da impressora o papel com os resultados do ensaio e agrafá-lo à folha de registo

9 Ensaio de Rebentamento

- 9.1 Verificar a calibração do aparelho: em *memory off* levar a contagem a zero e em *check* verificar que a leitura coincide com o valor indicado na etiqueta colocada no aparelho
- 9.2 Colocar uma folha e premir *start*; anotar o valor da leitura na folha de registo
- 9.3 Virar o provete ao contrário e efectuar nova medição na parte não rebentada da outra face
- 9.4 Repetir os passos 9.2 e 9.3 até analisar os 6 provetes
- 9.5 Das 12 contagens efectuadas desprezar as duas mais afastados para efectuar os cálculos necessários para determinar a resistência ao rebentamento

10 Ensaio de Rasgamento

- 10.1 Comunicar ao analista qual o °SR da pasta (nível de refinação) para ele informar se o ensaio se deve efectuar com o peso 1 ou com o peso 2; usualmente para °SR até 50 utiliza-se o peso 1
- 10.2 Verificar nos registos internos do Raíz, junto do aparelho, que este foi já calibrado no dia com o peso adequado
- 10.3 Anotar na folha de registo o ganho do mês e o ganho do dia
- 10.4 Utilizar 2 macetes de 4 provetes, um de cada vez, tendo todas as folhas a face brilhante voltada para fora
- 10.5 Para cada macete de 4 provetes ajustar a margem lateral ao risco marcado nas garras
- 10.6 Efectuar o corte inicial
- 10.7 Rasgar a folha soltando o pêndulo e agarrando-o logo de seguida
- 10.8 Ler o valor e anotá-lo na folha de registo
- 10.9 Recolocar o macete de 4 provetes de modo a que a margem lateral coincida com o risco marcado nas garras
- 10.10 Repetir os passos 10.5 a 10.9 para o outro macete
- 10.11 Efectuar os cálculos necessários para determinar a resistência ao rasgamento

11 Ensaio do Zero-span

- 11.1 Efectuar uma verificação do estado de calibração do aparelho: colocar o regulador em *ON*, aguardar 2s, ligar de imediato o cronómetro e exactamente ao fim de 10s carregar em *calibration*; ler a pressão no manómetro e comparar com o valor indicado na etiqueta colocada no aparelho
- 11.2 Escolher um copo limpo para o ensaio a seco e anotar na folha de registo o nº identificativo do copo
- 11.3 Prender um dos 14 provetes (tiras)
- 11.4 Premir o regulador *ON/OFF* e anotar o valor obtido na folha de registo
- 11.5 Colocar as duas partes do provete no copo
- 11.6 Repetir os passos 11.3 a 11.5 para mais 6 provetes (ao todo 7 provetes para o *zero-span* a seco)
- 11.7 Escolher um copo limpo para o ensaio a húmido e anotar na folha de registo o nº identificativo do copo
- 11.8 Borrifar a esponja
- 11.9 Colocar um dos restantes 7 provetes sobre a esponja e borrifar provete
- 11.10 Com a ajuda da garra de plástico, levar o provete para a área de medida do aparelho
- 11.11 Premir o regulador *ON/OFF* e anotar o valor obtido na folha de registo

- 11.12 Colocar as duas partes do provete no copo
- 11.13 Repetir os passos 11.9 a 11.12 para os outros 6 provetes (ao todo 7 provetes para o *zero-span* a húmido)
- 11.14 Colocar os copos dos dois ensaios (a seco e a húmido) na estufa e pedir ao analista que os retire depois de secos e que determine o peso dos copos sem provetes e o peso dos copos com provetes
- 11.15 Efectuar os cálculos necessários para determinar o valor do *zero-span* a seco e o valor do *zero-span* a húmido

12 **Ensaio Scott-Bond (resistências *out-of-plane*)**

- 12.1 Limpar todas as peças do aparelho com álcool
- 12.2 Comunicar ao analista qual o °SR da pasta (nível de refinação) para ele colocar o pesos adequado para a execução do ensaio
- 12.3 Verificar nos registos internos do Raíz, junto do aparelho, que este foi já calibrado com o peso adequado
- 12.4 Colocar fita cola na base do aparelho
- 12.5 Colocar um dos 2 provetes (tiras) em cima da fita cola e dobra a fita cola por cima do provete
- 12.6 Aplicar a parte superior do aparelho e apertar bem durante cerca de 5s
- 12.7 Tirar a parte superior à excepção dos pequenos tirantes
- 12.8 Cortar o provete entre os 5 tirantes com a ajuda de um xizato
- 12.9 Recolocar cada tirante e largar o pêndulo
- 12.10 Efectuar para cada tirante a leitura na escala correspondente ao peso utilizado
- 12.11 Anotar o valor da leitura na folha de registo
- 12.12 Repetir os passos 12.9 a 12.11 para os restantes 4 tirantes
- 12.13 Repetir os passos 12.4 a 12.12 para o outro provete
- 12.14 Efectuar os cálculos com o valor médio das leituras

ANEXO C

Procedimento 5 - Determinação do teor de cargas minerais no papel

Local de realização: DEQ

Norma de referência: TAPPI T211 – 525°C (Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C)

Notas:

No caso de calcinação de folhas laboratoriais usadas em ensaios físicos, usar os “restos” dos ensaios (resultantes do corte das folhas para ensaios mecânicos) que devem pesar pelo menos 1 g (base seca).

No caso de papel de impressão e escrita comercial dever-se-ão cortar manualmente, usando luvas sem pó, pequenos pedaços (cerca de 1x1 cm) de papel, contabilizando no total um mínimo de 1 g, mas preferencialmente 2 g de amostra.

1. Numeram-se e pesam-se, numa balança analítica, cadinhos previamente lavados e secos a 105°C.
2. A amostra é colocada nos cadinhos em duplicado (2 cadinhos por amostra). Apesar de não ser necessário para os cálculos, dever-se-á anotar o peso de amostra húmida de forma a tentar uniformizar o procedimento;
3. Colocam-se os cadinhos numa estufa a 105°C durante um mínimo de 5 horas, mas preferencialmente durante a noite (cerca de 16 horas). A estufa a usar poderá ser com ou sem ventilação, mas dever-se-á usar sempre a mesma estufa para as diferentes réplicas ou amostras usadas no estudo;
4. Retiram-se os cadinhos da estufa directamente para o exsiccador. Não esquecer de fechar a válvula do exsiccador após alguns minutos. Quando estiverem à temperatura ambiente (normalmente passado 1 hora), pesam-se os cadinhos na mesma balança analítica usada no ponto 1.
5. Colocam-se os cadinhos tapados numa mufla a 525°C sem rampa de aquecimento por 16 horas. Atenção: a mufla demora cerca de 1,5 horas a atingir a temperatura, pelo que este tempo é somado às 16 horas. Ao fim da primeira hora a 525°C retiram-se cuidadosamente as tampas. Ligar a ventilação da hotte assim que se fechar a porta da mufla e desligá-la sempre que se abrir (para tirar as tampas) para que as cinzas não saiam dos cadinhos.

6. Após as 16 horas, repetir o procedimento 4. O tempo que os cadinhos demoram a arrefecer depende da temperatura a que se tiram da hotte: se estiver a 525°C demoram cerca de 3 horas a arrefecer.
7. Calcular o conteúdo de carga pela Eq. 1:

$$\text{Filler content}(\%) = \frac{\text{Peso a } 525^{\circ}\text{C} \times 100}{\text{Peso a } 105^{\circ}\text{C}} \quad (1)$$

ANEXO C

Procedimento 6 - Testes de drenabilidade e retenção no DDA (Dynamic Drainage Analyzer)

Local de realização: Laboratório Tecnológico do Instituto RAIZ

Material

- copo de 5L (para a fibra)
- 2 copos de 600mL
- copo de 400mL
- copo de 50mL e pipeta de Pasteur
- proveta de 100mL - micropipeta até 5mL
- cadinhos de porcelana previamente secos e pesados
- calculadora

1. Preparação dos aditivos

1.1. Fibra

Suspensão de fibra: 4g de fibra refinada (base seca) em 400ml de H₂O

- 1.1.1. Calcular a quantidade de fibra a usar = n° ensaios*4/(100-H(%))
- 1.1.2. Levar ao desintegrador. Este tem um limite máximo de 30g fibra seca e funciona com um mínimo de 2L de suspensão. Carregar no botão vermelho para marcar 1200 rpm e no amarelo para começar a desintegrar.
- 1.1.3. Diluir até obter uma suspensão de 1%.

1.2. PCC

Suspensão de PCC: 1g de PCC em 100 ml de H₂O

- 1.2.1. Diluir a quantidade de PCC necessária para os ensaios numa suspensão de 1%.
- 1.2.2. Agitar com barra magnética durante 20 min.
- 1.2.3. Levar ao ultrassons durante 15min. Manter sempre em agitação após o tratamento.

1.3. Amido+ASA

- 1.3.1. Pesam-se 20g de amido (catiônico) e coloca-se num copo de 800mL (previamente pesado com a barra magnética).
- 1.3.2. Juntam-se 400 mL de água desmineralizada previamente aquecida a 60°C, para facilitar a agitação e evitar que a suspensão forme gel.
- 1.3.3. Prolonga-se o aquecimento até 70°C e adiciona-se 10 µL de enzima (α-amilase) sempre sob forte agitação. Prolonga-se o aquecimento durante 5min para T=80°C.
- 1.3.4. Para terminar a reacção de conversão enzimática adiciona-se 3,3 mL de solução de sulfato de zinco, mantendo sempre a agitação. Aquece-se a suspensão até 90-92°C, mantendo a agitação a esta temperatura durante 15 min (cozimento do amido). No final arrefece-se até 80°C (agitação constante e vigorosa).
- 1.3.5. Adicionam-se 2g de ASA e mantém-se a mistura a 60/70°C.
- 1.3.6. A consistência é ajustada pela adição da água quente (60°C), tipicamente a 12%.

1.4. Agentes de retenção

- 1.4.1. Pesa-se 0,1g de Percol (num copo de 500mL previamente pesado)
- 1.4.2. Adicionam-se 100mL de água quente (40°C) sob forte agitação até o sólido dissolver totalmente. Adiciona-se a restante água para obter 400mL de solução.

2. Parâmetros de ensaio

Aditivo	Quantidade (g)	Tempo de Contacto (s)	Tempo de Adição (s)
Fibra	4	300	-300
PCC	1	300	-300
Amido	0,05	180	-120
ASA	0,005	180	-120
Agente de retenção	0,001	10	-10

3. Equipamento DDA

- 3.1. Ligar o equipamento segundo o manual usando os seguintes settings

vácuo=300mBar

velocidade de agitação=800 rpm

tempo do ensaio=300s

tempo de decantação (stirrer lift time)=5 s

teia de 0,250M

Nota1: não se usam as seringas do equipamento pois não controlam a temperatura.

Nota2: fazer a calibração do agitador e do vácuo de cada vez que se liga o equipamento.

- 3.2. Iniciar o ensaio (Drain)

- 3.3. Juntar a suspensão de fibra (400mL) com a suspensão de PCC(100mL) num copo e adicionar ao vaso. Começar a medição (START). T=-300s
- 3.4. Devido à evaporação da água, é necessário pesar a mistura Amido+ASA e calcular a quantidade a retirar= $0,05 \times (\text{peso susp.}) / 20$. Ao fim de 120s (T=-180s) adicionar a quantidade da mistura de Amido+ASA pesada, usando uma pipeta de Pasteur.
- 3.5. Com a micropipeta adicionar 4mL do agente de retenção (começar a adicionar em T=-13s de modo a que todo o líquido esteja no vaso em T=-10s). A adição deverá ser feita para o centro da mistura tendo o cuidado de não acertar no agitador e nas paredes do vaso.
- 3.6. No final da medição (T=60s), gravar os resultados e parar o ensaio (STOP). Retirar a folha húmida e com ela remover todos os restos presos ao equipamento (agitador, teia, etc). Colocar num cadinho de porcelana previamente seco e pesado.
- 3.7. Colocar os cadinhos com a folha húmida na estufa a 105°C durante 24 horas. Retirar para um exscicador, deixar arrefecer e pesar para aferir a percentagem total de sólidos retida.
- 3.8. Levar os cadinhos com a folha seca à mufla tapados. Ao atingir a temperatura de 525°C retirar a tampa a deixar durante 16 horas. Retirar para o exscicador e depois de frios, pesar para aferir a percentagem de PCC retida.

ANEXO D

Folha de questões teórico-práticas

Questão 1:

(Matéria-prima)

Em cada uma das seguintes alíneas, seleccione a pasta mais adequada para a fabricação do papel, justificando devidamente a sua resposta:

- a) Pasta A – pasta com maior teor de lenhina residual; Pasta B – pasta com menor teor de lenhina residual;
- b) Pasta C – pasta com maior teor de hemiceluloses; Pasta D – pasta com menor teor de hemiceluloses;

Tenha em conta a influência de cada um destes compostos no processo de refinação e no potencial de ligação das fibras.

Questão 2:

(Matéria-prima)

Na Tabela 1 são indicadas as características morfológicas das fibras de 2 géneros usados na produção de pasta kraft, a bétula e o pinheiro.

Tabela 1 – Biometria de dois tipos de fibras

Género	A	B
Comprimento das fibras (mm)	2,9	1,1
Largura das fibras (μm)	20	22
Espessura da parede das fibras (μm)	5,5	3,0
<i>Coarseness</i> (mg / 100m)		

- a) Identifique cada um deles, justificando devidamente a sua opção.
- b) Preencha a última linha da tabela, calculando o *coarseness* das fibras. Para este efeito assuma que a secção reta das fibras é circular, que a sua parede tem espessura uniforme e que a densidade relativa do material fibroso é igual a 1,0.
- c) À pasta de qual dos géneros corresponderá o maior valor do nº de fibras por grama de pasta?

Questão 3:

(Potencial papelero das pastas)

Considere os resultados da Tabela 2, referentes à avaliação do potencial papelero de duas pastas comerciais, ambas obtidas pelo mesmo processo de cozimento.

Tabela 2 - Propriedades físico-mecânicas de pastas comerciais*.

	<i>Eucalipto</i> (<i>E.grandis</i>)	<i>Pinheiro</i> (<i>P.radiata</i>)
Comprimento (mm)	0,65	>2,50
Nº de fibras / massa de pasta (10 ⁶ /g)	23,3	2,2
Índice de tração (kN.m/kg)	28,6	14,7

* Carpim, M.A., Barrichelo, L.E.G., Cláudio-da-Silva, Jr., E., Dias., R.L.V. (1987), Proc. Congresso anual da ABCP – Semana do Papel, XX, S. Paulo, 183-205

Como explica que, não obstante possuírem fibras de maior comprimento (e portanto com maior resistência intrínseca), as folhas de pasta de pinheiro apresentem menor resistência à tração do que as folhas de pasta de eucalipto?

Para além de fatores relacionados com a composição química de cada um dos géneros, tenha em conta o número de fibras / massa de pasta, a refinação, a flexibilidade das fibras e o seu potencial de ligação (área de ligação).

Questão 4:

(Potencial papelero das pastas)

Existem no mercado mundial diferentes pastas papeleras, cujas propriedades variam em função da matéria-prima e dos processos físico-químicos associados à sua produção. Indique, sucintamente, que fatores devem ser considerados na seleção de uma pasta papelera para a produção de papéis finos de impressão e escrita (ex.: papel A04).

Questão 5:

(Potencial papelero das pastas)

O papel é formado a partir de uma mistura complexa de substâncias dispersas em meio aquoso, com características bastante heterogêneas.

Explique de que forma a química da parte húmida afeta a runnability da máquina e a qualidade do papel. Para cada um dos casos (“runnability da máquina” e “qualidade do papel”) considere apenas dois parâmetros.

Questão 6:

(Física e propriedades do papel)

Segundo o modelo bidimensional desenvolvido para explicar, de forma simples, a estrutura de uma folha de papel, esta é constituída por n camadas sobrepostas entre si, sendo n (também chamado “coverage”) dado por:

$$n = N \cdot L_{av} \cdot W_{av} / A \quad (\text{Eq. 1})$$

onde N é o número total de fibras na folha, L_{av} e W_{av} são respetivamente o comprimento e a largura média das fibras, e A a área da folha.

Tendo em conta uma folha de papel isotrópica, circular, com 16 cm de diâmetro, na qual foram usadas 1,2 g de fibra (O.D.) determine

- O número de “camadas” de fibras sobrepostas nessa folha, apresentando o resultado aproximado às unidades
- Compare o valor obtido com o calculado a partir da Equação 2:

$$n = b / b_f \quad (\text{Eq. 2})$$

onde b é a gramagem da folha e b_f a “gramagem” de cada fibra.

- Serão as equações 1 e 2 equivalentes? Demonstre.

Tenha em conta nos seus cálculos os seguintes dados:

Comprimento médio das fibras, $L_{av} = 0,8$ mm

Largura (diâmetro) médio das fibras, $W_{av} = 16$ μm

Coarseness (massa linear) das fibras, $c = 7$ mg/100 m

Questão 7:

(Física e propriedades do papel)

Um teste para avaliação do grau de colagem interna e/ou de colagem da superfície de papéis (principalmente cartolinas e papéis de embalagem) é o Teste Cobb.

- Se um papel tem de valor Cobb 60 igual a 25 g/m² e outro igual a 40 g/m², compare, justificando, o grau de colagem interna dos dois papéis.
- Uma técnica alternativa, e que também fornece informação adicional sobre a energia de superfície do papel, baseia-se na medição do Ângulo de Contacto do papel com a água. Indique, justificando detalhadamente, qual seria o perfil obtido para o papel da Figura 3, efetuando as medições do Ângulo de Contacto nas mesmas posições transversais.

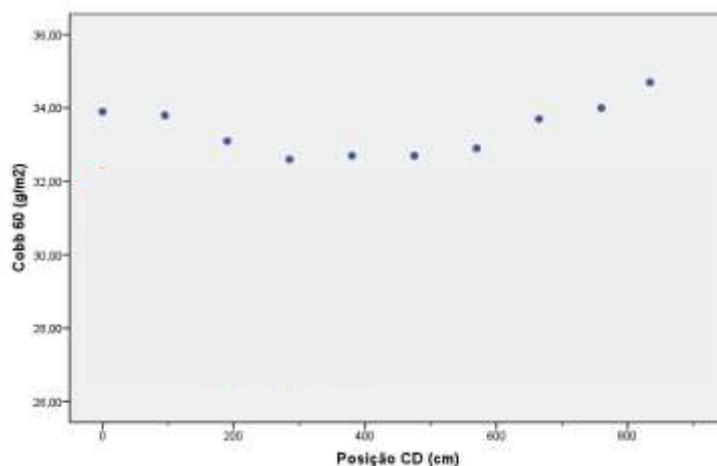


Figura 1

Questão 8:

(Preparação da pasta)

Num processo de produção de papel de impressão e escrita, o papel começou a apresentar valores de espessura abaixo da gama especificada. Para repor esta importante propriedade dentro da gama especificada foi então decidido aumentar a energia específica de refinação da fibra de eucalipto, de 80 kW.h/ton para 100 kW.h/ton, mantendo idênticas condições de caudal e consistência e mantendo as restantes condições de operação da máquina de papel.

- a) Indique, justificando devidamente, se esta foi a decisão certa para resolver o problema de qualidade que o papel apresentava.
- b) Indique que alterações principais são espectáveis, devido a esta ação, nas seguintes variáveis / características: drenabilidade na zona de formação, propriedades óticas (opacidade), resistências mecânicas (resistência ao rebentamento e à tração, rigidez), formação, mão, lisura, e permeabilidade ao ar do papel.

Questão 9:

(Preparação da pasta)

Indique quais das seguintes questões são verdadeiras ou falsas:

- a) A refinação produz alterações das fibras permitindo melhorar as propriedades do papel
- b) A refinação tem um reduzido impacto no controlo da variabilidade das características do produto
- c) A refinação pode gerar corte e diminuição do comprimento das fibras
- d) A refinação consiste num tratamento mecânico das fibras com barras metálicas e com uma quantidade reduzida de água
- e) As fibras tornam-se mais rígidas por efeito da refinação
- f) A refinação aumenta a resistência à tracção do papel
- g) A carga específica de bordo mede a intensidade da refinação

Questão 10:

(Máquina de papel: parte húmida)

A fim de comparar a anisotropia de dois papéis distintos mas de igual gramagem (A e B) foram consideradas duas folhas A4, uma de cada tipo de papel, e medida a resistência à tração nas direções longitudinal (DL) e transversal (DT) de cada folha. Tendo em conta os resultados obtidos (Tabela 2), e desprezando efeitos de variabilidade entre folhas do mesmo papel, indique, justificando devidamente, em qual dos papéis (A ou B) é maior a percentagem de fibras orientadas na direção transversal.

Tabela 2 – Resistência à tração nas direções longitudinal (DL) e transversal (DT) do papel

	Papel A		Papel B	
	DL	DT	DL	DT
Tração (N)	21,25	15,67	18,81	7,1

Questão 11:

(Máquina de papel: parte húmida)

- A tecnologia de controlo do perfil transversal de gramagem evoluiu significativamente com o aparecimento das Caixas de Chegada de Diluição.
- Descreva as funções da caixa de chegada enquanto elemento do formador
- Compare a tecnologia clássica de controlo do perfil transversal de gramagem com a tecnologia de diluição.
- Refira o impacto do perfil transversal de gramagem no perfil de orientação de fibras.

Questão 12:

(Máquina de papel: secagem)

Considere os dados da Tabela 1 relativos a uma máquina de papel de Papéis Finos de Impressão e Escrita:

Tabela 1

Gramagem (GSM)	80,0	g/m ²
Consistência na caixa de chegada (C1)	0,9	%
Retenção total (Rt)	80,0	%
Consistência à saída da seção de formação (C2)	22,0	%
Consistência à saída das prensas (C3)	53,0	%
Consistência (secura) à saída da pré-secaria (C4)	98,0	%
Aplicação de amido de superfície (AS)	30,0	kg / t (bs)
Humidade final do papel (Ha)	4,0	%
Largura PM (L)	10,0	m
Velocidade (V)	1500	m/min
Nº de cilindros secadores (N)	40	
Largura de cada cilindro secador (Lcil)	11,0	m
Diâmetro de cada cilindro secador (Dcil)	1,83	m

Calcule:

- A quantidade de água evaporada na pré-secaria para as condições apresentadas.
- A percentagem de água evaporada em relação ao caudal total de água descarregada na caixa de chegada.
- A taxa de evaporação TAPPI

Se assim o pretender pode utilizar a sequência a seguir indicada:

Produção Horária no enrolador, base tal qual	t/h
Produção Horária no enrolador, base seca (Se não souber calcular a produção horária no enrolador, base tal qual, considere 72 t/h)	t/h
Produção Horária no enrolador, base seca, sem amido de superfície (Tenha atenção que na pré-secaria o papel ainda não tem amido de superfície)	t/h
Caudal mássico total (água + sólidos) à entrada da pré-secaria	t/h
Caudal mássico total (água + sólidos) à saída da pré-secaria	t/h

Questão 13:

(Máquina de papel: parte húmida)

Quais são os principais componentes de secagem de uma máquina de papel *Tissue*?

- a) Sistema de aproximação
- b) Capota e cilindro *Yankee*
- c) Bobinadora (*Pope reel*)

6.2 Em que secção da máquina de transformação dos rolos de produto acabado se realiza a perfuração?

- a) Desenroladora
- b) Gofragem
- c) Rebobinadora

6.3 Indique as características mais importantes de um papel higiénico na perspetiva do utilizador final

Questão 14:

(Reciclagem)

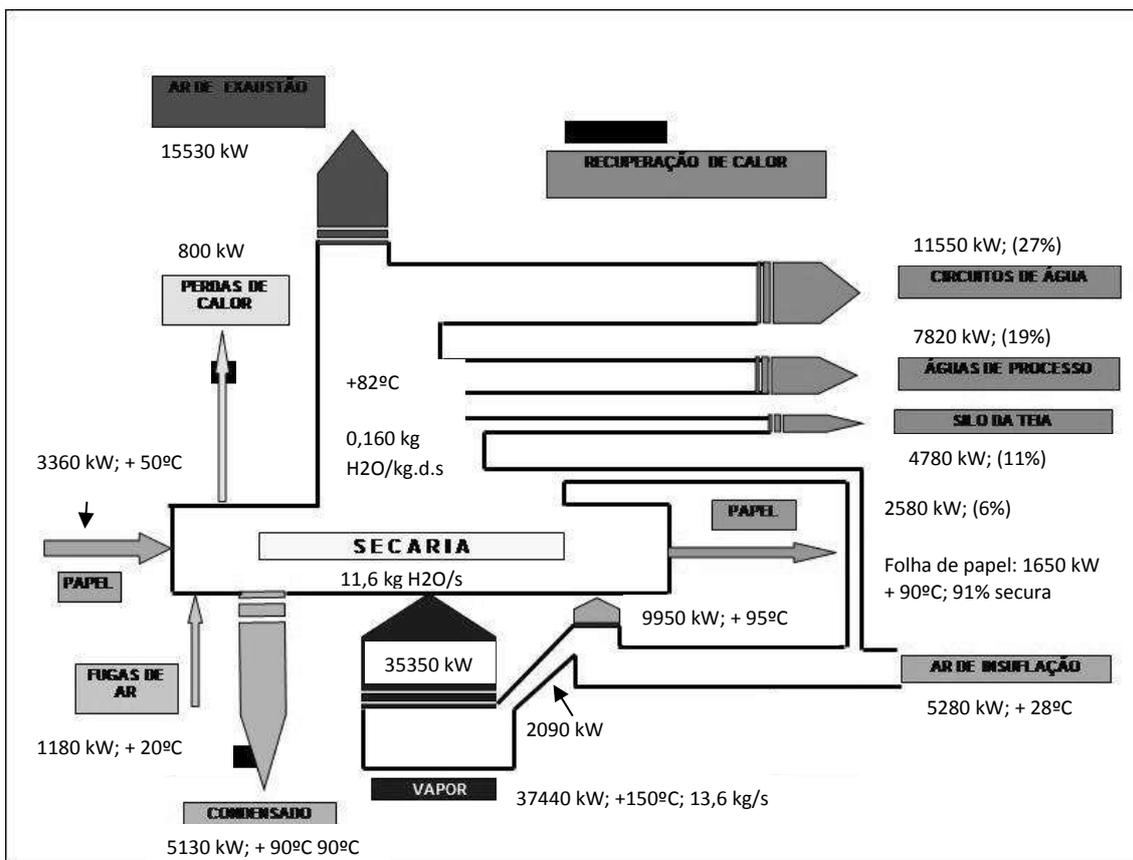
- a) No fabrico de papel reciclado existem várias fases de depuração (eliminação de contaminantes) do papel proveniente do desintegrador. Indique quais as tecnologias utilizadas de depuração tendo em conta o tipo e características do contaminante a remover
- b) A reciclagem das mesmas fibras pode ser feita num máximo até cerca de 7 vezes, dependendo do tipo de fibra e do produto final que se pretende. Indique alguma razões pelas quais as fibras não têm mais ciclos de reciclagem.

Questão 15:

(Máquina de papel: parte húmida)

(questão a ser resolvida em grupo)

Considere o seguinte diagrama de Sankey relativo à secaria de uma máquina de papel de jornal (adaptado de Gullichsen, J., Paulapuro, H. (Series Eds). 1998-2002. Papermaking Science and Technology. 20 books series. Fapet Oy (in cooperation with the Finnish Paper Engineer’s Association and TAPPI - Technical Association of Pulp and Paper Industry), Helsinki, ISBN 9525216004. Book 9: Papermaking, Part 2: Drying, Cap. 9, Sundqvist, H.):



Os dados do sistema são:

Gramagem do papel	42	g/m ²
Humidade do Papel	9	%
Velocidade da máquina	1600	m/min
Largura da folha à entrada da secaria	9,28	m
Secura à entrada da secaria	44,5	%
Secura à saída da secaria	91	%
Temperatura da folha à entrada da secaria (T ₁)	40	°C
Temperatura da folha à saída da secaria (T ₂)	90	°C
Temperatura média da folha na secaria	80	°C

Ar de exaustão

Temperatura	82	°C
Humidade do ar	0,16	kg H ₂ O / kg as

Ar de insuflação

Temperatura	66	°C
Humidade do ar	0,02	kg H ₂ O / kg as

Fugas de ar

Temperatura do ar das fugas	25	°C
Humidade do ar das fugas	0,01	Kg H ₂ O / Kg as
Caudal das fugas	30	% do ar de exaustão

Dimensões da capota

Comprimento	70	m
Largura	15	m
Altura	8	m

Dimensões do porão

Comprimento	70	m
Largura	15	m
Altura	7	m

Temperaturas na capota e no porão

Temperatura no exterior da capota (junto às paredes)	25	°C
Temperatura no interior da capota (junto às paredes)	90	°C
Temperatura no exterior do porão (junto às paredes)	25	°C
Temperatura no interior do porão (junto às paredes)	60	°C

Temperaturas do vapor e do condensado

Temperatura do vapor	150	°C
Temperatura do condensado	75	°C

Cilindros

Taxa de evaporação específica	24	Kg H ₂ O / (h.m ²)
Diâmetro dos cilindros	1,81	m

Tabela com propriedades termofísicas do vapor

Determine:

- A energia necessária para elevar a temperatura da massa fibrosa de T_1 para T_2 .
- A energia necessária para elevar a temperatura da água residual na folha de T_1 para T_2 .
- A energia necessária para elevar a temperatura da água evaporada até à temperatura de evaporação.
- A energia necessária para evaporar a água.
- A energia necessária a aquecer (ou arrefecer) o vapor de água até à temperatura do ar de exaustão.
- A energia necessária para aquecer o ar insuflado.
- A energia necessária para aquecer o ar das fugas até à temperatura do ar de exaustão
- A energia térmica perdida através da capota.

- i) A energia total (energia a fornecer à secaria via vapor).
- j) O caudal de vapor.
- k) O consumo específico de vapor.
- l) O número de cilindros secadores necessários

Coimbra, DEQ/FCTUC, 14 de Janeiro de 2019



Paulo Jorge Tavares Ferreira

Paulo Jorge Tavares Ferreira