



**Universidade de  
Aveiro  
2008**

Departamento de Química

**Joana Filipa  
Carvalho dos  
Reis**

**Factores Equipamento e Madeira que  
influenciam a produção de aparas**



**Universidade de  
Aveiro  
2008**

Departamento de Química

**Joana Filipa  
Carvalho dos  
Reis**

**Factores Equipamento e Madeira que  
influenciam a produção de aparas**

Complemento (6 ECTS) ao Anteprojecto para correspondência com a dissertação/projecto (30 ECTS) do Mestrado Integrado em Engenharia Química da Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química, realizado sob a orientação científica do Engenheiro Alexandre Martins, Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Química da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

**Professor Dmitry Victorovitch Evtyugin**

Professor associado com agregação do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

**Engenheiro Alexandre Martins**

Professor Auxiliar Convidado do Departamento de Química da Universidade de Aveiro

**Engenheiro Pedro Silva**

Director do Departamento de Estudos e Controlo do Processo da fábrica de Cacia, Portucel

## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Eng. Alexandre Martins, pelo apoio, disponibilidade e compreensão demonstrados ao longo do período de execução deste trabalho.

Este trabalho não seria possível sem a colaboração e dedicação do Eng. João Martins pertencente à CelTejo – Empresa de Celulose do Tejo, S.A., e ao Eng. Mendes de Sousa pertencente à Raiz - pela disponibilidade em me fornecer recursos necessários à sua execução.

Por fim, pela compreensão, pela ajuda, pela paciência, um grande obrigado aos pais, familiares e amigos que me ajudaram no equilíbrio e realização deste objectivo.

**palavras-chave**

Aparas, destrozador de disco, madeira

**resumo**

O presente trabalho propõe-se abordar os factores de equipamento e de matéria-prima que influenciam a produção de aparas de madeira. O trabalho é composto pela identificação e caracterização da instalação e do equipamento, pela discussão dos factores que influenciam a produção e a qualidade das aparas, princípios de engenharia química envolvidos no processo e por uma análise económica do investimento.

**keywords**

chippes, disc chipper, wood.

**abstract**

The present work proposal is to discuss the equipment and raw material factors that influence the wood chips production. The work is composed by the installation and equipment identification and characterization, by the discussion of the factors that influence the chips production and quality, chemical engineering principles involved in the process and an economical analysis of the investment.

## Índice

Sumário executivo	1
<b>1. Identificação da Instalação</b>	<b>3</b>
<b>2. Caracterização da Instalação e seu Enquadramento no processo</b>	<b>7</b>
<b>3. Princípios de Engenharia Química envolvidos na operação</b>	<b>11</b>
<b>4. Factores que influenciam a produção de aparas</b>	<b>12</b>
<b>4.1. Factores de Equipamento</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Factores de Madeira</b>	<b>19</b>
<b>4.3. Problemas associados ao excesso de finos e grossos</b>	<b>21</b>
<b>5. Opções de Equipamentos</b>	<b>22</b>
<b>6. Análise Económica</b>	<b>23</b>
<b>7. Referências bibliográficas</b>	<b>29</b>
<b>8. Apêndices</b>	<b>31</b>
<b>8.1. Apêndice A – Exemplo de cálculo</b>	<b>31</b>
<b>8.2. Apêndice B – Contactos efectuados</b>	<b>33</b>
<b>8.3. Apêndice C – Simulação Bancária</b>	<b>37</b>

## Índice de Figuras

Figura 1 -	Representação esquemática de um destroçador de discos	3
Figura 2 -	Aparas de madeira	3
Figura 3 -	Detalhes de um destroçador	4
Figura 4 -	Representação esquemática do corte de um destroçador e seus ângulos.	5
Figura 5 -	Diagrama do Parque de Madeiras	8
Figura 6 -	Diagrama base da fábrica de pasta <i>Kraft</i> para papel	10
Figura 7 -	Dimensões da apara	12
Figura 8 -	Representação esquemática do corte de um destroçador e seus ângulos	13
Figura 9 -	Representação esquemática das dimensões que determinam o comprimento da apara, $l$	14
Figura 10 -	Representação gráfica do rendimento em pasta e dos rejeitos em função da espessura da apara	15
Figura 11 -	Relação entre as fracções de finos, razão comprimento/espessura e o ângulo $\lambda$	17
Figura 12 -	Razão comprimento/espessura	17
Figura 13 -	Efeito da velocidade de corte na geração de finos, grossos e palitos	18
Figura 14 -	Comparação entre o método linear e o método múltiplo linear para determinar a depreciação	25

## Índice de Tabelas

Tabela 1 -	Parâmetros usados na simulação do empréstimo bancário	23
Tabela 2 -	Primeiro ano de prestações do empréstimo bancário para o destróador de discos	23

## Nomenclatura

$CF_i$	Cash Flow no ano i	
d	Depreciação	€/anos
h	Abertura entre o disco e a contra-navalha	m
l	Comprimento da Apara	m
n	Vida útil	anos
P	Produção de aparas	sm <sup>3</sup> /h
$P_{pasta\ acabada\_ad}$	Produção horária de pasta acabada (“seca ao ar”)	tad/ano
$P_{anual,pasta\ acabada}$	Produção de pasta acabada (“seca ao ar”)	tad/ano
$P_{anual}$	Produção (entrada em armazém) (“seca ao ar”)	tad/ano
t	Taxa Interna de Retorno ou Taxa de Descontos	%
$V_{rolaria}$	Volume de madeira, na forma de rolaria, que é necessário processar no parque de madeiras para alimentar ao digestor	sm <sup>3</sup> /h
V	Valor original do equipamento no início do período de serviço de vida	€
$V_S$	Valor do equipamento no fim da vida útil	€

## Símbolos Gregos

$\alpha$	Ângulo de ataque	°
$\beta$	Ângulo da Navalha	°
$\varepsilon$	Ângulo do Bocal de alimentação	°
$\lambda$	Ângulo Complementar	°

## Índices

od	Base seca	tod
ad	Base “seca ao ar”	tad

## **Abreviaturas**

PRI	Prazo de Recuperação de Investimento ou Payback Time
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atractividade
VAL	Valor Actual Líquido

## Sumário Executivo

A geometria e o dimensionamento do equipamento, bem como as propriedades mecânicas da madeira são elementos chave na obtenção de aparas de alta qualidade.

Entende-se por aparas, pequenos pedaços de madeira com dimensões bem definidas. O controlo das dimensões das aparas deverá obedecer a uma distribuição tão estreita quanto possível, de modo a promover um cozimento uniforme evitando o sobrecozimento dos finos e a produção de incozidos.

São três as dimensões das aparas que devemos ter em atenção: espessura, comprimento e largura. O comprimento é uma dimensão de elevada importância, na medida em que influencia a penetração do licor. A penetração do licor é mais rápida quando é feita no sentido longitudinal. A espessura é uma dimensão crítica, na medida em que influencia o processo de difusão das espécies químicas para o interior das aparas. A largura é uma dimensão que não possui interesse processual.

Como já referi anteriormente, o processo de formação de aparas é influenciado pelas propriedades mecânicas da madeira (dureza, humidade, idade de corte) e pelas propriedades do próprio equipamento (velocidade de corte, geometria, tipo de equipamento).

Existem problemas associados ao excesso de finos e grossos. Como por exemplo, diminuição do rendimento do processo; risco de encravamento dos crivos do digestor, causando paragens acidentais e originando pastas mais fracas.

Para uma produção anual de 400.000 tad/ano, o  $m^3$  sólido de madeira que é necessário processar no parque de madeiras para alimentar ao digestor, de acordo com os critérios de desenho fornecidos, é de  $255 \text{ s} \cdot m^3/h$ . O custo da instalação para um destroçador de discos capaz de processar cerca de  $255 \text{ s} \cdot m^3/h$  é de aproximadamente 1.840.000,00€. Realizou-se uma simulação de um empréstimo bancário, tendo por base os seguintes parâmetros: prazo de 8 anos e taxa de juro de Euribor 3 meses + Spread 1%. A perda de valor do equipamento é conhecida como depreciação. Esta é devida ao desgaste, à corrosão e à deterioração do equipamento devido à idade.

Com o objectivo de avaliar se o investimento tem sucesso, realiza-se uma análise da viabilidade económica. Uma análise de viabilidade económica consiste no estudo das possibilidades de sucesso de um projecto. Esta é realizada tendo por base os custos do

projecto e o potencial de lucro gerado pelo mesmo, recorrendo a indicadores de viabilidade, como por exemplo a taxa interna de retorno, o prazo de recuperação do investimento e o valor líquido actual. É também relevante analisar a depreciação do equipamento. Esta pode ser determinada tendo por base o método linear ou o método linear múltiplo.

## 1. Identificação da Instalação

O destroçador de discos, **figura 1**, promove a produção de aparas, **figura 2**, através do corte de toros de madeira, com as dimensões adequadas ao processo com o intuito de facilitar o processo de cozimento. As dimensões das aparas irão influenciar o processo de penetração do licor e de impregnação das aparas.



**Figura 1** – Representação esquemática de um destroçador de discos. (Metso, 2008)

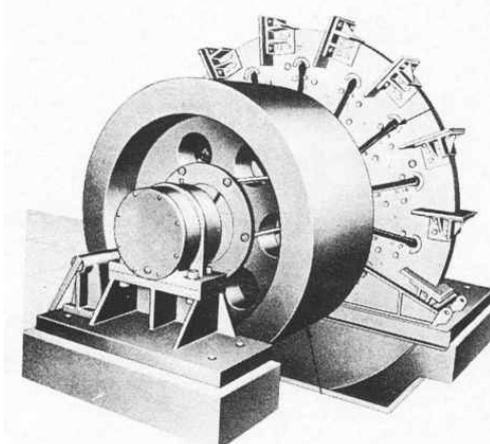


**Figura 2** – Aparas de madeira. (Bicho, 2005)

Como é sabido, o destroçador de discos, de entre os destroçadores existentes no mercado, é o mais usado na indústria de celulose. Tal virtuosidade deve-se:

- Boas taxas de produção;
- Custos de investimento e manutenção moderados;
- Boa qualidade de aparas.

Este tipo de equipamento (**fig. 3**) é constituído por um disco rotativo, munido de navalhas distribuídas na superfície do disco. A alimentação dos toros é feita através de um bocal que forma um ângulo em relação à face de corte. As aparas são obtidas pelo impacto dos toros com as navalhas, deixando o equipamento através de fendas existentes na superfície do disco. De forma a assegurar, que as aparas passem entre as aberturas do equipamento, as aberturas devem ter uma forma e um posicionamento correctos.

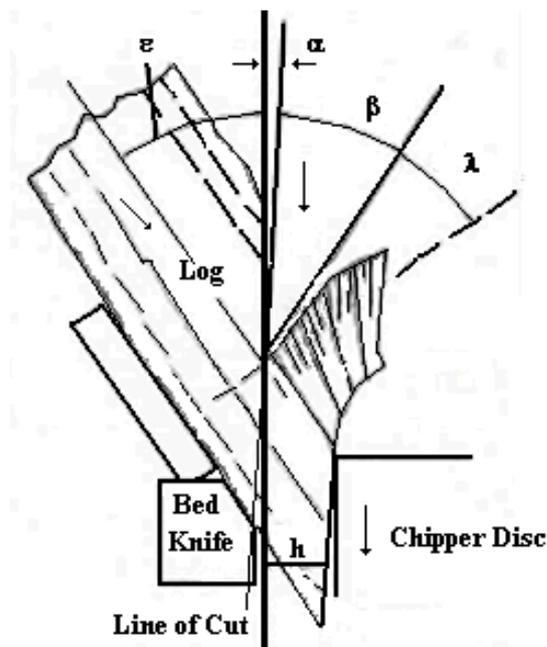


**Figura 3** – Detalhes de um destroçador. (Apostila de Celulose)

É de salientar, que antes da alimentação dos toros ao destroçador, estes devem ser lavados com o intuito de se remover areia ou terra neles contidas de forma a não prejudicarem a vida das navalhas e o processo de cozimento.

Como é sabido, o processo de formação de aparas é bastante influenciado pelas propriedades da madeira (espécie, humidade, idade, entre outros) e pelas propriedades do próprio equipamento (velocidade de corte, geometria, entre outros). (Keyas et al, 1979; Smook, 1997)

Na figura seguinte, **figura 4**, podem-se observar os diferentes ângulos que influenciam as dimensões das aparas.



**Figura 4** – Representação esquemática do corte de um destrocador e seus ângulos. (Keyas e tal, 1979)

Legenda:  $\alpha$  → Ângulo de Ataque (valores típicos: 1-7°);  
 $\beta$  → Ângulo da navalha (valores típicos: 30-37°);  
 $\epsilon$  → Ângulo do bocal de alimentação (valores típicos: 30-40°);  
 $\lambda$  → Ângulo Complementar:  $90 - (\alpha + \beta + \epsilon)$ ;  
 $h$  → Distância do disco ao fio da navalha, aproximadamente igual à abertura entre o disco e a contra-navalha.

Analisando a **figura 4**, verifica-se que a construção (geometria) do destrocador de discos define quatro ângulos importantes. Neste equipamento, e como já referi anteriormente, o destrocador de discos é constituído por um disco rotativo, munido de navalhas orientadas radialmente ao longo de uma linha de corte sobre o plano do disco rotativo, formando um ângulo  $\alpha$ . A abertura das navalhas corresponde ao ângulo  $\beta$ . A direcção do bocal de alimentação forma um ângulo  $\epsilon$  com o plano do disco rotativo. O quarto ângulo complementar de  $(\alpha + \beta + \epsilon)$ ,  $\lambda$ , é o ângulo entre a face interior da navalha e a perpendicular do toro. (Keyas et al, 1979)

A selecção do valor do ângulo  $\beta$  e do ângulo  $\lambda$  é determinante na formação da aparã. O valor do ângulo  $\beta$  é importante na medida em que influencia o valor do ângulo  $\lambda$ . O valor do ângulo  $\lambda$ , simultaneamente com as propriedades físicas da madeira,

estabelece se o corte das aparas é feito no modo de clivagem ou no modo de compressão. (Keyas et al, 1979; Smook, 1997)

Da análise da **figura 4** verifica-se também (Keyas et al, 1979):

- *Comprimento*

Esta dimensão é condicionada pelo valor que o parâmetro **h** toma. O comprimento é uma dimensão importante relativa à qualidade das aparas.

- *Espessura*

Esta dimensão é condicionada pelos ângulos de ataque e complementar. Dimensão crítica relativa à qualidade das aparas.

- *Largura*

Dimensão sem interesse processual.

## **2. Caracterização da instalação e seu enquadramento no processo**

O equipamento em estudo encontra-se fixado no parque de madeiras da unidade fabril. Na página seguinte (**página 8**) apresenta-se o diagrama relativo a essa área operacional.

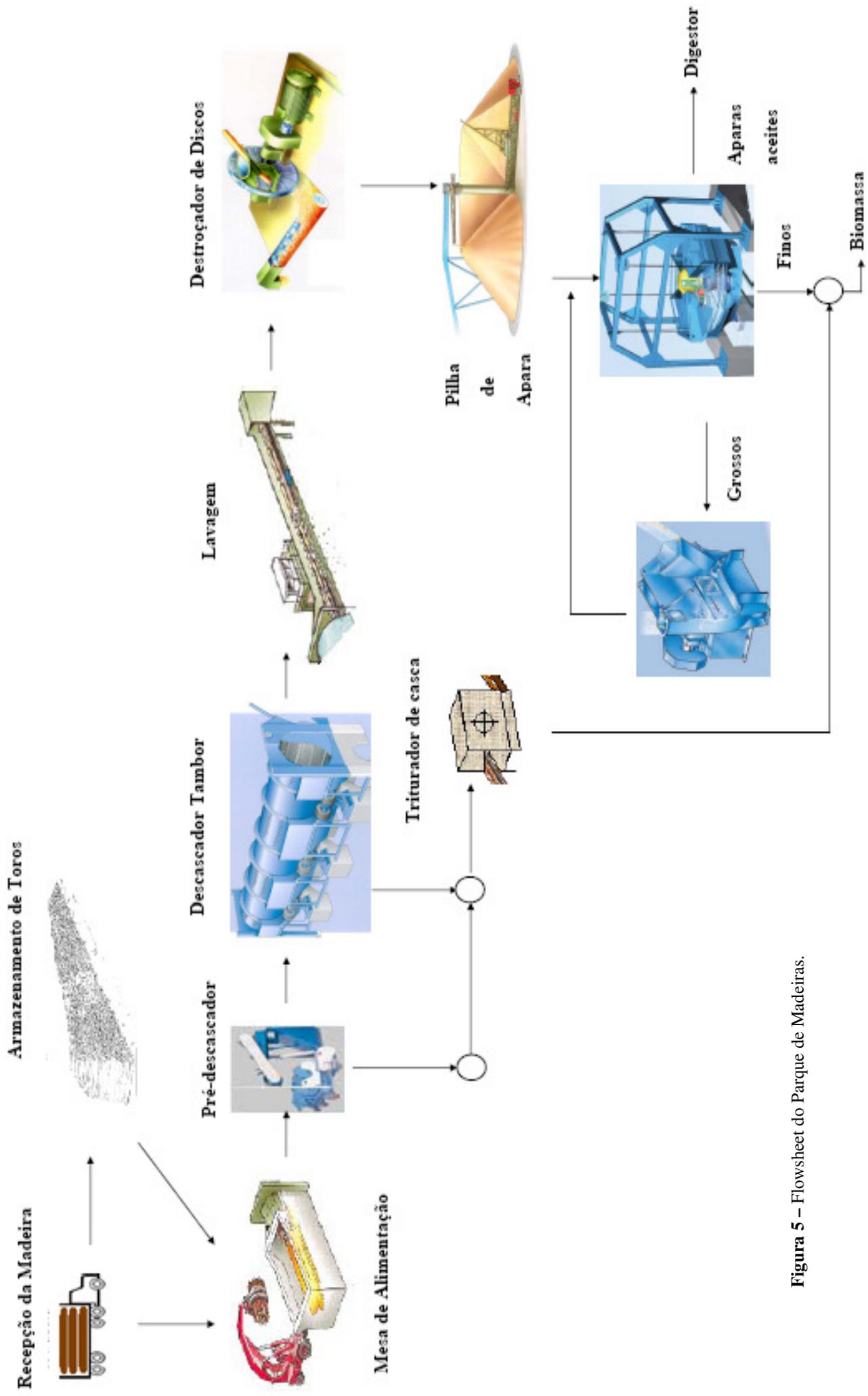


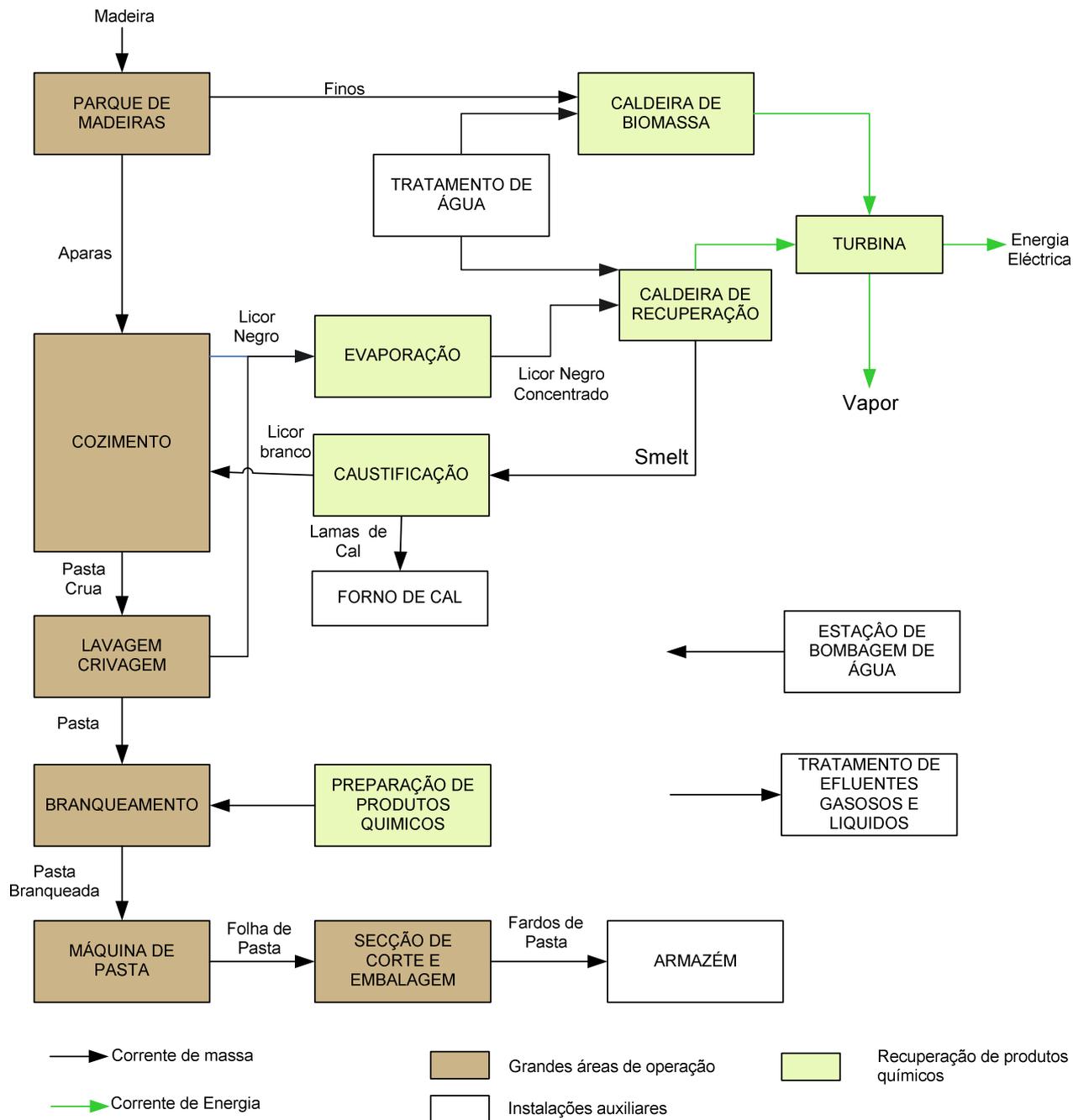
Figura 5 – Flowsheet do Parque de Madeiras.

O parque de madeira de uma unidade fabril tem como propósito a recepção, preparação e armazenamento da madeira. É nesta que se procede à transformação da matéria-prima, na forma de rolaria, em aparas com as dimensões adequadas.

Desta área operacional fazem parte:

- *Pré-descascador*  
Fere a casca dos toros;
- *Descascador*  
Remove a casca dos toros, com maior ou menor eficiência;
- *Sistema de Lavagem*  
Remove as impurezas presentes nos toros.
- *Destroçador*  
Transforma os toros em pequenas aparas com as dimensões adequadas;
- *Crivos*  
Separam as aparas por tamanhos (grossos, aceites e finos) para obtenção de uma distribuição homogénea na fracção aceite;
- *Redestroçador*  
Os grossos, provenientes do processo de crivagem, vão para o redestroçador onde sofrem novo processo de corte.

Na **figura 6** observa-se a posição de um parque de madeiras numa unidade fabril de pasta *Kraft*.



**Figura 6 - Diagrama base da fábrica de pasta Kraft para papel.**

### **3. Princípios de Engenharia Química envolvidos na operação**

A operação unitária envolvida no processo de formação de aparas, em tecnologia química, é conhecida por *redução de dimensões*.

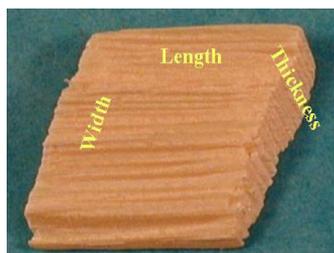
A *redução de dimensões* consiste na transformação da rolaria em aparas de madeira, com as dimensões adequadas de forma a promover um cozimento uniforme evitando o sobreaquecimento dos finos e produção de incozidos.

A *redução de dimensões* é imposta pelo produto final pretendido e pelo tipo de madeira.

Neste destrocador de discos os toros são comprimidos contra as lâminas, cortando-os. A força exercida por estas, à medida que o processo decorre, vai aumentando e provocando assim a formação das aparas.

#### 4. Factores que influenciam a produção de aparas

Como já referi anteriormente, as dimensões das aparas (*comprimento, largura e espessura*, **fig. 7**) são parâmetros muito importantes na produção de pasta, uma vez que vão influenciar o processo de penetração do licor e de impregnação das aparas (difusão dos agentes químicos para o interior das aparas), bem como a transferência de calor.



**Figura 7** – Dimensões da apara. (Bicho, 2005)

As dimensões das aparas deverão obedecer a uma distribuição tão estreita quanto possível, de modo a promover um cozimento uniforme evitando:

- Formação de incozidos:

Se as aparas tiverem grandes dimensões dão origem a incozidos. Isto deve-se, ao facto de não ter sido dado tempo suficiente para que ocorresse a difusão dos químicos dentro destas;

- Sobrecozimento:

Se detiverem dimensões reduzidas ocorrerá o sobrecozimento, provocando a degradação das fibras.

Uma distribuição homogénea das aparas além de promover um cozimento uniforme promove (Keyas et al, 1979):

- A diminuição do teor de rejeitos;
- O aumento do rendimento em pasta;
- A diminuição dos riscos de mau funcionamento dos equipamentos.

Os requisitos básicos para aparas de boa qualidade são (Martins, 03-04):

- Uniformes em comprimento e em espessura;
- Livres de fibras encurtadas ou danificadas;
- Densidade de mistura uniforme.

Existem vários factores que influenciam a qualidade das aparas, tais como (Keyas et al, 1979; Martins, 03-04):

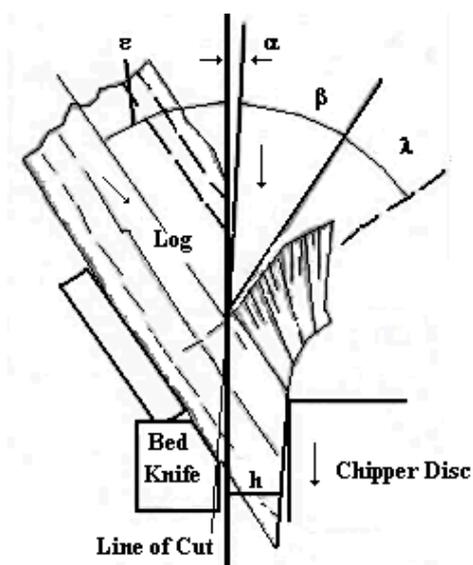
- Ângulos de corte;
- Velocidade de corte;
- Estado das navalhas e das contra-navalhas;
- Humidade ou secura da madeira;
- Idade de corte da madeira;
- Etc.

É também relevante, o facto de as aparas conterem o mínimo teor de casca e serem completamente livres de metais, pedras, areias, terras ou de outros quaisquer contaminantes.

#### 4.1. Factores de Equipamento

Como já referi anteriormente, as dimensões das aparas são influenciadas pela geometria do equipamento.

A figura seguinte, **fig. 8**, representa o corte de um destroçador de discos, evidenciando as variáveis do equipamento que influenciam as dimensões das aparas, ou seja, evidenciando os ângulos importantes para este efeito



**Figura 8** – Representação esquemática do corte de um destroçador e seus ângulos. (Keyas et al, 1979)

**NOTA:** A legenda referente à **figura 8** encontra-se na página 5.

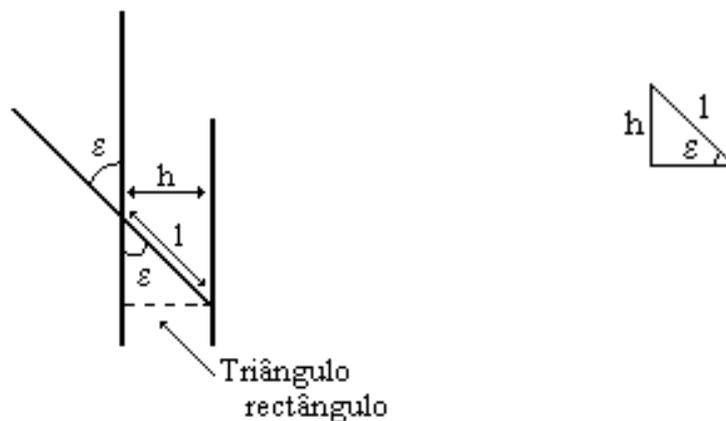
Influência nas dimensões das aparas:

▪ **Comprimento**

O comprimento é uma dimensão importante para a qualidade das aparas e é influenciado pela geometria do equipamento. Mais concretamente, o comprimento é função da abertura formada entre o disco e a contra-navalha, **h**, e o ângulo do bocal de alimentação,  $\varepsilon$ , através da equação (Keyas et al,1979; Smook, 1997):

$$l = \frac{h}{\sin \varepsilon} \quad (1)$$

Em baixo encontra-se a dedução da equação 1:



**Figura 9** – Representação esquemática das dimensões que determinam o comprimento da apara, l.

Por definição sabemos:  $\sin \varepsilon = \frac{h}{l} \Leftrightarrow l = \frac{h}{\sin \varepsilon}$

Consequências:

- Quando o valor da abertura **h** aumenta, aumenta o comprimento da apara;
- Quando o ângulo  $\varepsilon$  aumenta, diminui o comprimento da apara.

Muitos destrojadores são desenhados de forma a proporcionarem alguns ajustes relativos ao comprimento das aparas, alterando as dimensões das navalhas. Como? Alterando a distância entre o disco e a contra-navalha.

Em todos os destrojadores o comprimento da apara aumenta, à medida que a superfície do disco se desgasta, ou seja, quando aumenta **h**. Sendo necessário proceder-se à substituição ou à reconstrução periódica da superfície do disco. Normalmente, as navalhas

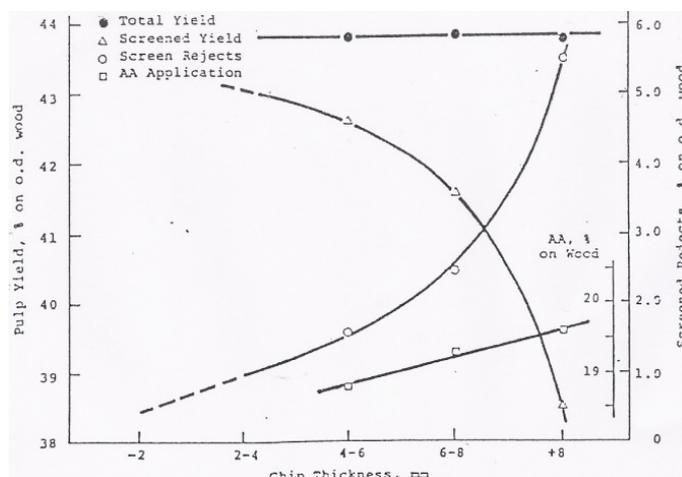
são substituídas, para afiar, duas vezes por turno (é de salientar, que um turno em regime de laboração contínua corresponde a 8 horas laborais).

O comprimento da aparta influencia a penetração do licor. No processo *Kraft*, a penetração do licor é muito mais rápida no sentido longitudinal. (Keyas et al,1979)

### ▪ *Espessura*

A espessura é o principal factor crítico no processo *Kraft*, uma vez, que variações de espessura influenciam a qualidade da pasta. Mais concretamente, quanto maior for o ângulo do fio da navalha,  $\beta$  (ou seja, menor o ângulo complementar,  $\lambda$ ), maior será a espessura das apartas. (Keyas et al, 1979; Pulp and Paper, 1979). A formação da aparta é feita no modo de compressão.

Tendo em conta a figura seguinte, **fig. 10**, verifica-se que quanto maior a espessura, menor é o rendimento crivado, pois maior é o teor de rejeitos (finos e grossos) formados. (Martins, 03-04)



**Figura 10** – Representação gráfica do rendimento e dos rejeitos em função da espessura da aparta. (Martins, 03-04)

A espessura da aparta influencia o processo de difusão. A maioria dos agentes químicos será transportada na direcção onde a distância é mais curta, isto é, a espessura da aparta. (Keyas et al, 1979)

Consequências:

- Quanto maior a espessura, maior o teor de rejeitos formados;
- Quanto maior a espessura, maior o tempo necessário para a difusão dos agentes químicos na aparas.

É relevante salientar que depois de formadas as aparas, a espessura média é reduzida devido ao impacto entre as aparas e o destróador. (Keyas et al, 1979)

#### ▪ *Largura*

A largura não possui interesse processual.

Como já referi anteriormente, a selecção do valor do ângulo da navalha,  $\beta$ , é muito importante na medida em que este influencia o valor do ângulo complementar,  $\lambda$ , e a selecção do valor do ângulo  $\lambda$ , simultaneamente com as propriedades físicas da madeira, estabelece se a formação das aparas será feita por clivagem ou por compressão. (Keyas et al, 1979)

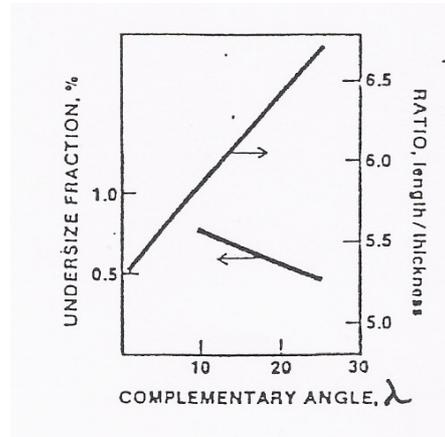
O ângulo complementar,  $\lambda$ , determina o modo de acção das navalhas: (Martins, 03-04)

- $\lambda$  alto: A formação das aparas é feita por clivagem;  
Vantagens: Menor potência consumida;  
Aparas menos espessas;  
Desvantagem: Menor tempo de vida da navalha.
- $\lambda$  baixo: A formação das aparas por compressão;  
Vantagem: Maior tempo de vida da navalha.  
Desvantagens: Maior dissipação da potência;  
Aparas mais espessas.

Como já referi anteriormente, elevados valores de  $\lambda$  fomentam menos compressão e usualmente menos danos (**fig. 11**), podendo também reduzir o consumo de energia. Estes, valores elevados, podem ser obtidos através (Keyas et al, 1979):

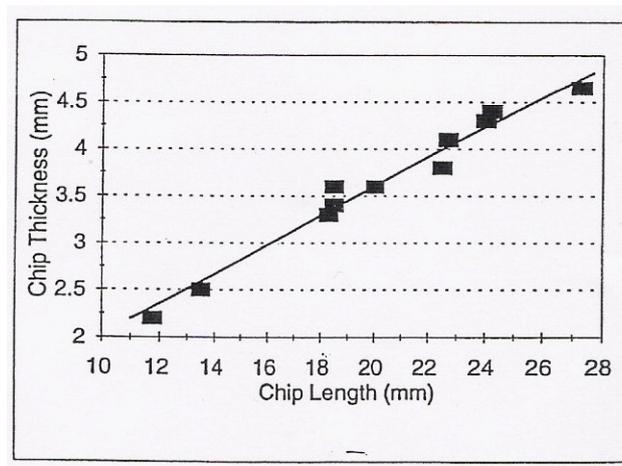
- Redução do ângulo de ataque,  $\alpha$ , embora geralmente não seja ajustável. Implica redução da taxa de alimentação;

- Redução do ângulo da navalha,  $\beta$ , o que reduz o tempo de vida da navalha;
- Redução do ângulo do bocal de alimentação,  $\epsilon$ .



**Figura 11** – Relação entre a fracção de finos, razão comprimento/espessura e o ângulo  $\lambda$ . (Martins, 03-04)

Da **figura 11**, conclui-se que quanto maior o ângulo complementar,  $\lambda$ , menor a formação de grossos e maior a razão entre o comprimento e a espessura. (Martins, 03-04)



**Figura 12** – Razão comprimento/espessura. (Martins, 03-04)

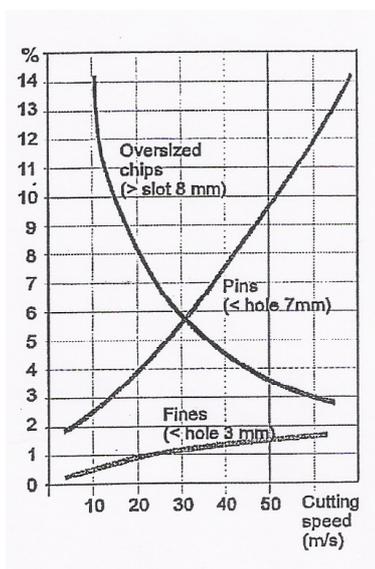
Da **figura 12**, conclui-se que existe uma relação linear entre o comprimento e a espessura. Ou seja, quanto maior o comprimento da aparagem, maior a espessura. (Martins, 03-04)

Para ângulos  $\beta$  pequenos ( $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ) e ângulos  $\lambda$  elevados ( $26^{\circ}$ - $36^{\circ}$ ) a separação ocorre por clivagem e o consumo de energia deverá ser reduzido. Para ângulos  $\beta$  grandes ( $50^{\circ}$ ) e ângulos  $\lambda$  pequenos ( $6^{\circ}$ ) a separação ocorre por compressão e o consumo de energia deverá ser elevado. (Keyas et al, 1979)

O ponto ideal corresponde a um ângulo  $\beta$  pequeno que favoreça a formação das aparas por clivagem mas suficientemente grande para aumentar o tempo de vida das navalhas. (Martins, 03-04)

Além dos ângulos do destroçador, existem outros factores do equipamento que influenciam a qualidade das aparas. Como por exemplo, a *Velocidade de Corte*. (Smook, 1997)

A velocidade de corte é um factor importante relativamente à qualidade das aparas. Para se obter aparas de elevada qualidade deve operar-se a uma velocidade óptima. Através da **figura 13** para um determinado caso particular, pode-se dizer que a velocidade óptima de corte se situa entre os 20m/s e os 30 m/s. Neste intervalo, o teor de palitos e de finos formados é baixo, evitando, assim, o encravamento dos crivos, e o teor de grossos é aceitável, na medida em que a quantidade de aparas a sofrerem o processo de re-destroçamento é menor. Para atingir a velocidade óptima de corte, a velocidade de rotação do disco deve diminuir e o número de lâminas deve aumentar. (Smook, 1997)



**Figura 13** – Efeito da velocidade de corte na geração de finos, grossos e palitos. (Gullichsen, 2000)

Da **figura 13**, conclui-se que quanto maior a velocidade de corte, maior vai ser o teor de finos e palitos formados e menor o teor de grossos.

## 4.2. Factores da madeira

Em qualquer equipamento o processo de destroçamento da madeira é grandemente influenciado pelas suas propriedades mecânicas.

Os processos de produção de pasta possuem determinadas exigências relativas à matéria-prima. As principais fontes de matéria-prima mais exploradas e mais frequentemente usadas são (Keyas et al, 1979):

- Resíduos de unidades fabris de tratamento de madeira;
- Resíduos florestais;
- Toros de madeira.

### Características físicas e químicas

→ *Densidade*

Relativamente à densidade, não existe uma relação directa entre o consumo de energia e a densidade da madeira.

Mas para uma densidade elevada tem-se tipicamente: (Martins, 03-04)

- Maior dificuldade no destroçamento;
- Maior dimensão das aparas;
- Maior teor de rejeitos formados;
- Mais energia necessária.

→ *Dureza*

A dureza da madeira aumenta com a densidade e com a secura da madeira: (Martins, 03-04)

- Quanto maior a densidade da madeira, maior é em regra a dureza desta;
- A madeira mais seca, apresenta uma dureza mais elevada que a madeira mais húmida.

De acordo com ensaios realizados, a madeira com elevada dureza gera aparas mais finas e consome mais energia. Esta influencia o desgaste das navalhas. Normalmente, as navalhas são substituídas, para afiar, duas vezes por turno. (Martins, 03-04)

→ *Humidade*

Como referi anteriormente, a madeira muito seca apresenta uma dureza elevada, gerando aparas muito finas e consumindo também mais energia.

A quantidade de água presente nos toros influencia a impregnação dos químicos, facilitando-a. (Martins, 03-04)

Este factor ainda influencia o processo de destroçamento. As condições da madeira relativamente à sua humidade relativa podem ser descrita da seguinte forma (Keyas, 1979):

- Seca – 10% (base madeira húmida);
- Armazenada – 15-25%;
- Ponto de saturação da fibra – 25%;
- Húmida – 45-50%;
- Encharcada – 60-70%.

→ *Idade de corte*

As árvores mais jovens têm menor densidade e são mais fáceis de cozer.

A idade de corte também é importante se o estacionamento em parque for prolongado pois acentua a sua degradação. (Martins, 03-04)

→ *Dimensões dos toros de madeira*

Quanto mais finos forem os toros de madeira, isto é, quanto menor o diâmetro, maiores as perdas no destroçamento por geração de serrim (finos).

→ *Coefficiente de coesão das fibras*

O coeficiente de coesão das fibras depende de espécie e influencia a facilidade ou dificuldade da madeira em se fragmentar em aparas no momento do corte.

É de salientar o facto de o motor de um destroçador ser de maior potência para a madeira folhosas, comparativamente com a madeira resinosas, uma vez que as folhosas são mais duras.

O destroçamento de madeira folhosas requer uma mudança mais frequente de facas, comparativamente com a madeira resinosas.

#### **4.3. Problemas associados ao excesso de finos e grossos:**

São inúmeros os problemas associados ao excesso de finos e grossos:

- Diminuem o rendimento em pasta;
- Encravam os crivos, causando paragens acidentais;
- Originam pastas mais fracas.

## **5. Opções de equipamentos**

Existem opções relativamente ao equipamento de produção de aparas, tais como os destrojadores tambor, destrojador de discos e o destrojador de disco duplo.

No entanto, como referi anteriormente, o destrojador de discos, de entre os destrojadores existentes no mercado, é o mais usado na indústria de pasta para papel. Tal virtuosidade deve-se:

- Boas taxas de produção;
- Custos de investimento e manutenção moderadas;
- Boa qualidade de aparas.

## 6. Análise Económica

Para realizar a simulação do empréstimo bancário relativo ao custo da instalação de um equipamento, como o destroçador de discos, é necessário conhecer a capacidade do destroçador de discos, uma vez, que o preço final varia consoante a sua capacidade. Ainda é necessário conhecer o tempo de vida útil do equipamento em causa.

Para uma produção anual de 400 000 tad/ano, o m<sup>3</sup> sólido de madeira, na forma de rolaria, que é necessário processar no parque de madeiras para alimentar ao digestor é de 255 s m<sup>3</sup>/h. (Apêndice A)

O custo da instalação para um destroçador de discos capaz de processar cerca de 255 s m<sup>3</sup>/h é de aproximadamente 1 840 000,00 €. (Apêndice C)

Na tabela seguinte (**tabela 1**), encontram-se registados os parâmetros necessários para a realização de um empréstimo bancário para este tipo de instalação.

**Tabela 1** - Parâmetros usados na simulação do empréstimo bancário.

<b>Prazo (anos)</b>	8
<b>Nº Prestações</b>	96
<b>Taxa de Juro</b>	Euribor 3 meses + Spread 1%

Na tabela seguinte (**tabela 2**) encontram-se registados os valores obtidos para o primeiro ano de prestações do empréstimo bancário.

**Tabela 2** - Primeiro ano de prestações do empréstimo bancário para o destroçador de disco.

<b>Data</b>	<b>Ano</b>	<b>Prestação</b>	<b>Total a pagar (€)</b>	<b>Dívida (€)</b>
08/03	01	001	25.073,11	1.825.363,65
08/04	01	002	25.069,92	1.810.647,49
08/05	01	003	25.066,71	1.795.851,07
08/06	01	004	25.063,48	1.780.973,96
08/07	01	005	25.060,24	1.766.015,72
08/08	01	006	25.056,98	1.750.975,91
08/09	01	007	25.053,69	1.735.854,08
08/10	01	008	25.050,40	1.720.649,78
08/11	01	009	25.047,08	1.705.362,57
08/12	01	010	25.043,74	1.689.991,99
00/01	01	011	25.040,39	1.674.537,59
09/02	01	012	25.037,02	1.658.998,91
09/03	02	013	25.033,63	1.643.375,49
<b>Total</b>			325.696,39	

Para a realização de uma análise de custos e lucros a qualquer investimento efectuado, é necessário ter em conta, e não esquecer, que o equipamento perde valor com o passar de anos. Uma vez que ocorre uma série de factores (Timmerhaus et al, 1980):

- Desgaste físico do equipamento;
- Modernização do mesmo;
- Alterações económicas;
- Progresso técnico;
- Evolução dos comportamentos;
- Entre outros.

A perda de valor do equipamento, ou seja, a diminuição do seu custo inicial devido a alguns dos factores descritos em cima é conhecida como **depreciação**. (Timmerhaus et al, 1980)

A origem da depreciação tem duas causas (Timmerhaus et al, 1980):

- Físicas: desgaste, corrosão, acidentes e deterioração devido à idade;
- Funcionais: o equipamento torna-se obsoleto devido aos progressos tecnológicos e evolução dos comportamentos, mesmo que não se encontre qualquer tipo de dano físico no equipamento.

Para que a depreciação seja justa, é necessário determinar-se todas as causas que levam à diminuição do valor inicial do equipamento, por mais difícil que seja avaliá-las. (Timmerhaus et al, 1980)

Estima-se que o equipamento de uma fábrica de pasta para papel tem um tempo de vida útil de 16 anos. Em termos de depreciação considera-se aproximadamente 10 anos, tendo como limite inferior 8 anos e como superior 12 anos. (Timmerhaus et al, 1980)

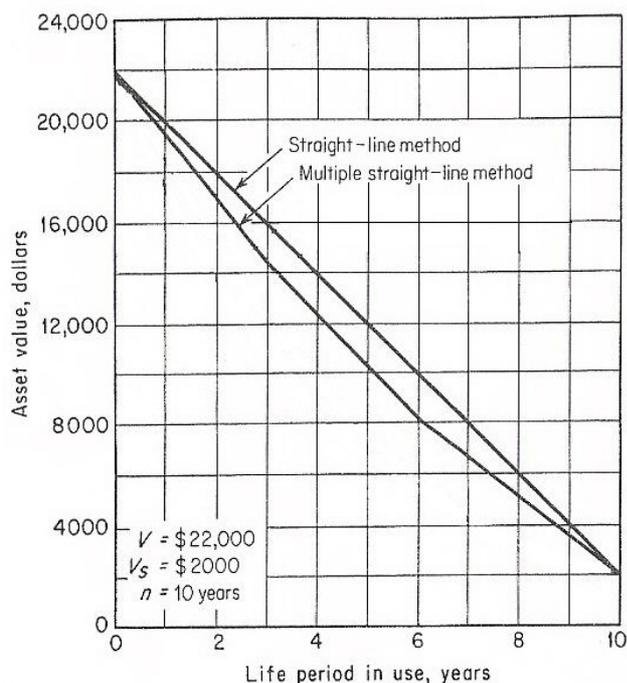
A depreciação do equipamento pode ser determinada pelo método linear, que assume um decréscimo linear com o tempo do valor da propriedade. O custo de depreciação anual pode ser expresso pela seguinte fórmula (Timmerhaus et al, 1980):

$$d = \frac{V - V_g}{n_t} \quad (3)$$

O valor da qualidade do equipamento é determinado a qualquer altura, durante a sua vida útil, pela fórmula (Timmerhaus et al, 1980):

$$V_g = V - ad \quad (4)$$

É impossível estimar-se exactamente os anos de vida útil do equipamento e os valores salvados. Esta impossibilidade leva a uma necessidade de se voltar a estimar todos os factores ao longo do tempo, durante toda a vida útil do equipamento. Para tal, aplica-se o método de depreciação linear e o método de depreciação múltipla linear. A **figura 14** ilustra a forma como o custo do equipamento varia com o tempo usando ambos os métodos. (Timmerhaus et al, 1980)



**Figura 14** - Comparação entre o método linear e o método múltiplo linear para determinar a depreciação. (Timmerhaus et al, 1980)

Uma **avaliação económica** ou **análise de viabilidade económica** consiste num estudo das possibilidades de sucesso de um projecto. A avaliação envolve:

- Previsões dos proveitos e dos custos criados pelo projecto;
- O cálculo dos diversos indicadores de viabilidade, que são fundamentados pelos Fluxos de Tesouraria gerados (**Taxa Interna de Retorno, Valor Actual Líquido e Prazo de Recuperação do Investimento**).

Uma maneira de avaliar a robustez dos resultados obtidos é, ainda, a realização de uma análise de sensibilidade.

Os **Fluxos de Tesouraria** gerados são “desenhados” num mapa que apresenta quais as origens e as aplicações de capital numa empresa num determinado período de tempo. O Mapa, normalmente, encontra-se dividido por actividades (Nota positiva, 2006):

- Operacionais: um exemplo da origem de capital, neste tipo de actividades, é a admissão de clientes. As aplicações fazem-se por pagamentos ao pessoal, aos fornecedores e ao Estado;
- De investimento: neste tipo de actividades, os desinvestimentos são muito usados como uma forma de obter capital e a realização de investimento, uma maneira de o aplicar;
- De financiamento: uma forma de se obter capital passa pela realização de empréstimos ou pelo aumento de capital através da entrada de dinheiro, e uma forma de o aplicar corresponde ao pagamento dos empréstimos e respectivos juros e à diminuição do capital pela saída de dinheiro.

A **Taxa Interna de Retorno, TIR**, é a taxa económica necessária para igualar o valor do investimento realizado com os seus retornos futuros ou saldos de caixa, ou seja, a rentabilidade do investimento. Esta taxa é calculada pela seguinte fórmula:

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+r)^i} \quad (5)$$

Com:  $VAL = 0$

**VAL** é igual a zero, uma vez que a **TIR** representa uma taxa que se usada como taxa de desconto, torna o **VAL** igual a zero. (Nota positiva, 2006)

A **TMA** é uma taxa de juros que representa o mínimo que um investidor pretende ganhar aquando do investimento, ou, por outro lado, o máximo que os financiadores se comprometem a pagar. (Nota positiva, 2006)

A **TIR** de um investimento pode ser:

- Maior que a **Taxa Mínima de Atractividade (TMA)**, sendo, deste modo, o investimento economicamente atractivo;

- Igual à **TMA**, colocando o investimento numa situação económica indiferente;
- Menor que a **TMA**, tornando o investimento economicamente não atractivo, uma vez que o seu retorno poderá ser superado pelo retorno de um investimento sem risco.

De uma forma geral, entre diversos investimentos, o melhor será aquele que apresentar a maior **TIR**, ou seja, aquele que tiver uma TIR superior ao custo de financiamento. (Nota positiva, 2006)

O **VAL** é uma fórmula matemático-financeira que permite determinar o valor actual dos pagamentos futuros, ou seja, é uma avaliação da viabilidade do investimento envolvendo o cálculo do valor actual de todos os cash-flows. Valor actual é definido como o valor de hoje de um montante que se pretende obter no futuro.

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{CF_i}{(1+t)^i} \quad (6)$$

Com:  $t$  – Taxa de desconto

Qualquer tipo de investimento gera cash-flows apenas no futuro, sendo, por isso, necessário actualizar-se o valor de cada um e comparar-se com o valor investido. Se este valor for inferior ao valor actual dos cash-flows, o **VAL** é positivo proporcionando uma rentabilidade também positiva do projecto.

Na fórmula do **VAL**, a taxa de desconto tem como papel a actualização dos cash-flows. Esta taxa é uma “taxa de juros sem risco acrescida de um prémio de risco estabelecido para o tipo de projecto em causa.” (Nota positiva, 2006)

**Cash Flow** ou **Fluxo de Caixa** apresenta todas as entradas e saídas de capital esperadas num certo período de tempo, sendo determinado pela construção de um mapa de Fluxos de Tesouraria. Para tal é necessário conhecer-se todas as funções da empresa, como os pagamentos, receitas, gastos em matéria-prima e materiais secundários, salários, entre outros, para se poder antever quais os gastos futuros tendo em conta o que se gasta/consome hoje. Deste modo, torna-se um excelente auxiliar nas diversas tomadas de decisões de uma empresa, ou seja, mostra-nos a sua capacidade de auto-financiamento. (Nota positiva, 2006)

Por fim, o **Prazo de Recuperação do Investimento (PRI)**, também conhecido por **Payback Time** é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento em que o lucro iguala o valor do investimento, ou seja, o tempo necessário para que o **VAL** atinja valores positivos. Por outras palavras, permite determinar o tempo que o investidor irá demorar a recuperar o investimento realizado inicialmente. (Nota positiva, 2006)

O cálculo do **PRI** pode terminar em dois cenários:

- **PRI** < 1 ano

Investimento com justificação imediata

Conseguiu-se recuperar o investimento inicial em menos de um ano → Situação Óptima;

- **PRI** > 1 ano

Analisar a **TIR**.

## 7. Referências Bibliográficas

**Andritz**; *Pulp and Paper*; © 2008 Andritz AG; Website: [www.Andritz.com](http://www.Andritz.com); Visitado: 20/11/2007 às 22h43;

**Bicho**, P. (2005) *Chip Quality*; Pulp and Paper Research Institute of Canada (Paprican); p. 5, 14;

**ENG 07768**; *Tópicos em Tecnologia Orgânica – Celulose & Papel*; Apostila de celulose; Website: [www.eng.ufrgs.br/cursos/grad/Celulose/Apostila%20de%20celulose.doc](http://www.eng.ufrgs.br/cursos/grad/Celulose/Apostila%20de%20celulose.doc); Visitado: 21/12/2007 às 22h05;

**Gullichsen**, J.; Fogelbol, J.(2000); *Chemical Pulping, Papermaking Science and technology*; Book 6A; Tappi press; p. A374; p. 369-377;

**Keyas**, J. L. Et al (1979) *Pulp and Paper Technology séries No.5, Chip Quality Monograph*; Edited by Dr. J. V. Hatton; Tappi; Cap.1, Cap.2, Cap.5 e Cap. 13;

**Laboratório de Gestão**; *Glossário Geral*; Website: <http://eden.dei.uc.pt/gestao/forum/glossario/index.htm>; Visitado: 31/01/08 às 14h35;

**Martins**, Alexandre (2003-2004); *Mestrado em Engenharia dos Processos de Produção de Pasta*. UA/FCTUC/UBI/RAIZ;Apontamentos Manuscritos;

**Metso**; *Pulp and Paper*; @ Metso Paper 2007; Website: [www.metsopaper.com](http://www.metsopaper.com); Visitado: 20/11/2007 às 15h35;

**Metso**; Woodhandling; @ Metso Paper 2007; Website: <http://www.metsopaper.com/paper/MPwHome.nsf/FR?ReadForm&ATL=/paper/MPwFiber.nsf/WebWID/WTB-041122-2256F-6AAF3>; Visitado: 18/12/2007 às 14h51;

**Nota positiva**; *Dicionário de Gestão*; Website: [http://www.notapositiva.com/dicionario\\_gestao/indice\\_a.htm](http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/indice_a.htm); Visitado: 31/01/08 às 15h;

**Nota positiva;** @ 2006; *Dicionário de Gestão – Fluxos de Tesouraria*; Website:  
[http://www.notapositiva.com/dicionario\\_gestao/indice\\_f.htm](http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/indice_f.htm); Visitado: 31/01/08 às 15h15;

**Nota positiva;** @ 2006; *Dicionário de Gestão – Taxa mínima de atratividade*; Website:  
[http://www.notapositiva.com/dicionario\\_gestao/indice\\_t.htm](http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/indice_t.htm); Visitado: 31/01/08 às 15h26;

**Nota positiva;** @ 2006; *Dicionário de Gestão – Valor Actual Líquido*; Website:  
[http://www.notapositiva.com/dicionario\\_gestao/indice\\_l.htm](http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/indice_l.htm); Visitado: 31/01/08 às 15h28;

**Nota positiva;** @ 2006; *Dicionário de Gestão – Cash Flow*; Website:  
[http://www.notapositiva.com/dicionario\\_gestao/indice\\_c.htm](http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/indice_c.htm); Visitado: 31/01/08 às 15h33;

**Nota positiva;** @ 2006; *Dicionário de Gestão – PRI*; Website:  
[http://www.notapositiva.com/dicionario\\_gestao/indice\\_p.htm](http://www.notapositiva.com/dicionario_gestao/indice_p.htm); Visitado: 31/01/08 às 15h46;

***Pulp and Paper*** (1979), *Chemistry and Chemical Technology*; Volume I; James P. Casey  
Editor; third Edition;

**Smook** , G. A. (1997), *Handbook for Pulp and Paper Technologists*, Tappi Press, Canada;

**Timmerhaus**, K. D.; Peters, M. S. (1980); *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*; third Edition; McGrawHill Book Company; Chemical Engineering Series.

## 8. Apêndices

### 8.1. Apêndice A – Exemplo de Cálculos

De forma a calcular os diferentes caudais nas áreas departamentais, ao longo da linha de fibra, tomou-se como referência inicial o caudal de pasta que sai na tiragem, de acordo com a capacidade da instalação, tendo em conta os rendimentos (critério de projecto) para um dos departamentos.

→ **Tiragem**

▪ **Cálculo da produção de pasta acabada,  $P_{\text{pasta acabada}}$ :**

- Produção (entrada do armazém):  $P_{\text{anual}} = 400000 \text{ tad/ano}$
- Dias de operação por ano:  $\text{Dias} = 345 \text{ dias}$
- Factor de projecto:  $15\%$

Através dos critérios globais, Produção anual (entrada no armazém) e factor de projecto, determina-se a produção anual de pasta acabada em base húmida:

$$\begin{aligned} P_{\text{anual, pasta acabada}} &= P_{\text{anual}} + P_{\text{anual}} \times 0,15 \Leftrightarrow & \text{(A.1)} \\ \Leftrightarrow P_{\text{anual, pasta acabada}} &= 400000 + 400000 \times 0,15 \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow P_{\text{anual, pasta acabada}} &= 460000 \text{ tad / ano} \end{aligned}$$

Convertendo em produção horária em base húmida:

$$P_{\text{pasta acabada}_{ad}} = \frac{P_{\text{anual, pasta acabada}}}{\text{Dias} \times 24 \text{ h}} = \frac{460000 \text{ tad/ano}}{345 \text{ dias/ano} \times 24 \text{ h}} = 55,56 \text{ tad/h} \quad \text{(A.2)}$$

Sabemos que se consome  $3 \text{ s} \cdot \text{m}^3 / \text{tad}$  acabada, então:

$$V_{\text{rolaria}} = P_{\text{pasta acabada}_{ad}} \times 3 \text{ s} \cdot \text{m}^3 / \text{tad} = 55,56 \text{ tad/h} \times 3 \text{ s} \cdot \text{m}^3 / \text{tad} = 166,68 \text{ s} \cdot \text{m}^3 / \text{h}$$

**Tabela A.1.** - Dados utilizados no dimensionamento da zona do parque de madeiras.

<i>Dados</i>	<i>Valores</i>	<i>Unidades</i>
Exploração do Parque de Madeiras	2	turnos/dia útil
Perdas máxima	2	% m/m

Como há 2% de perdas na crivagem (em massa) mas como nos cálculos a massa cancela, basta corrigir a produção para o digestor:

$$\frac{166,68 \text{ sm}^3 / h}{0,98} = 170 \text{ sm}^3 / h$$

Assumindo que o parque de madeiras opera apenas 16h/dia (2 turnos) e o digestor 24h/dia, então a produção de aparas é:

$$170 \times 24 = P \times 16 \Leftrightarrow P = 255 \text{ sm}^3 / h$$

## 8.2. Apêndice B – Contactos Efectuados



Figura B.1 – Print Screen do mail enviado ao Engenheiro João Martins da CelTejo.

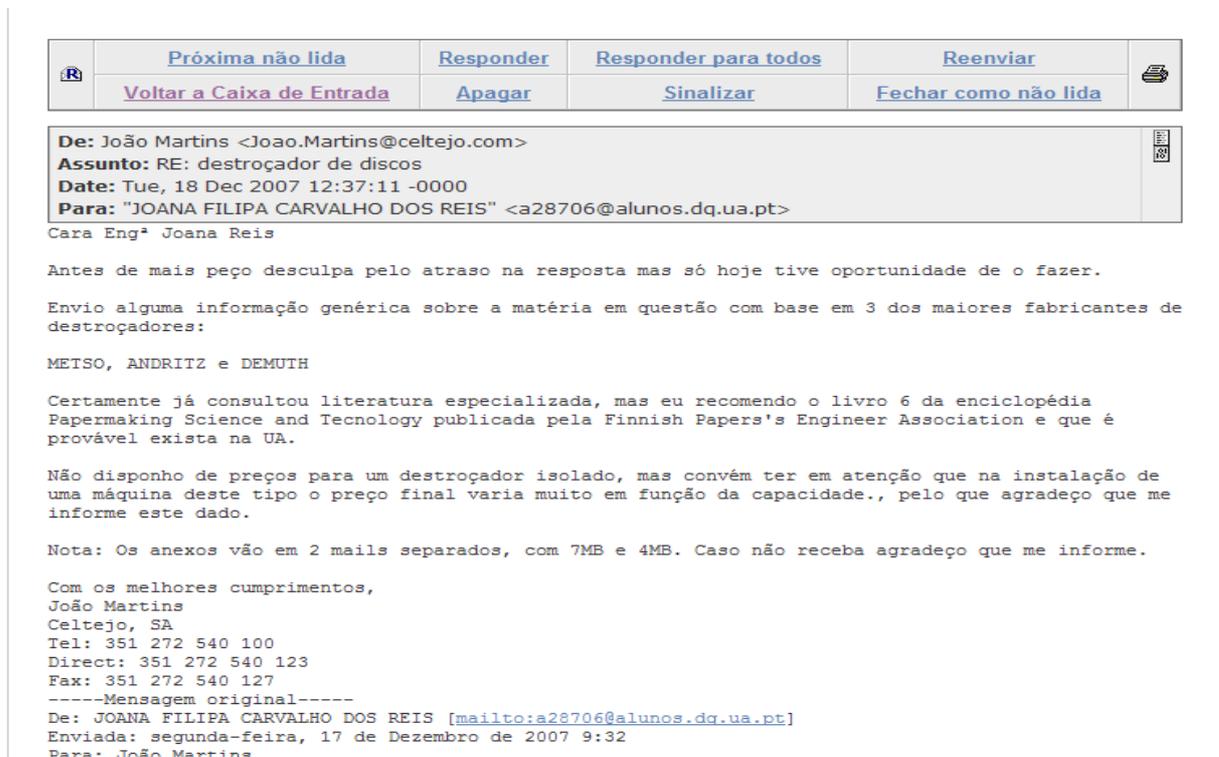


Figura B.2 – Print Screen da Resposta obtida ao mail enviado ao Engenheiro João Martins da CelTejo.



Figura B.3 – Print Screen do mail enviado ao Engenheiro Carlos Vanzeller da Celbi.

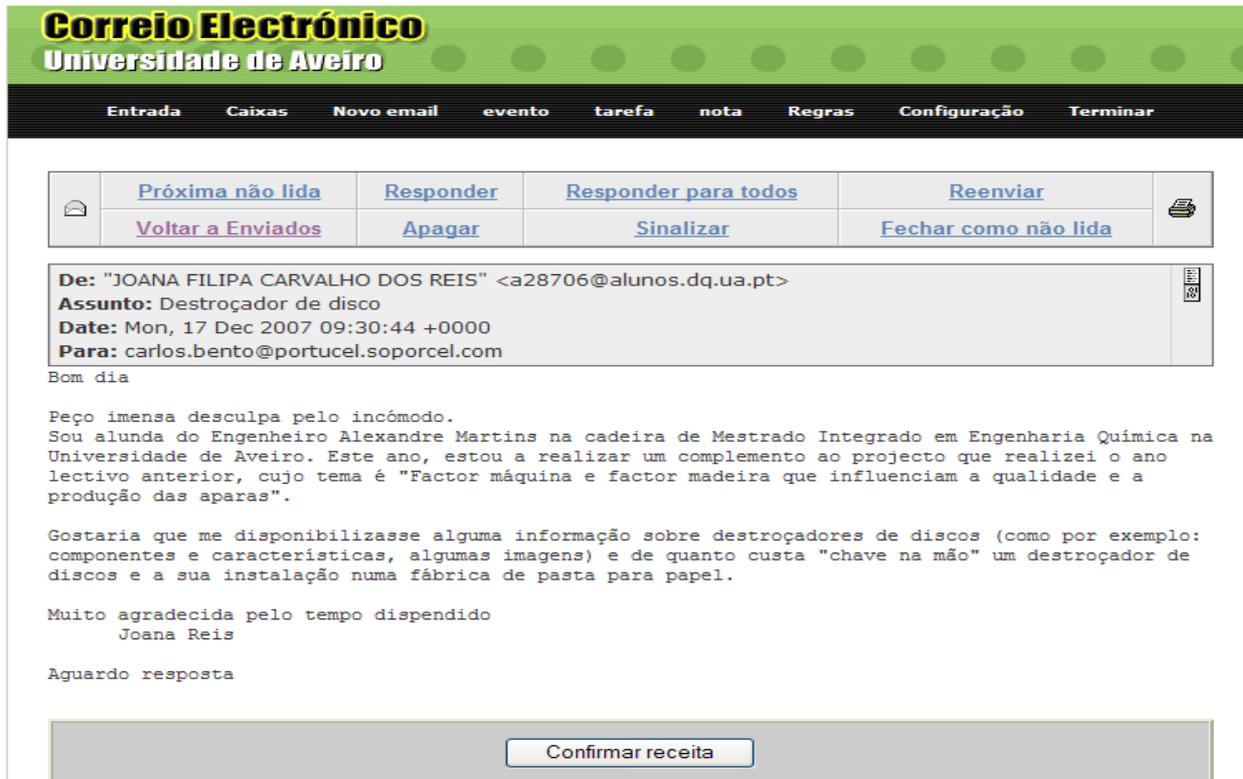


Figura B.4 – Print Screen do mail enviado ao Engenheiro Carlos Bento da Portucel-Soporcel.



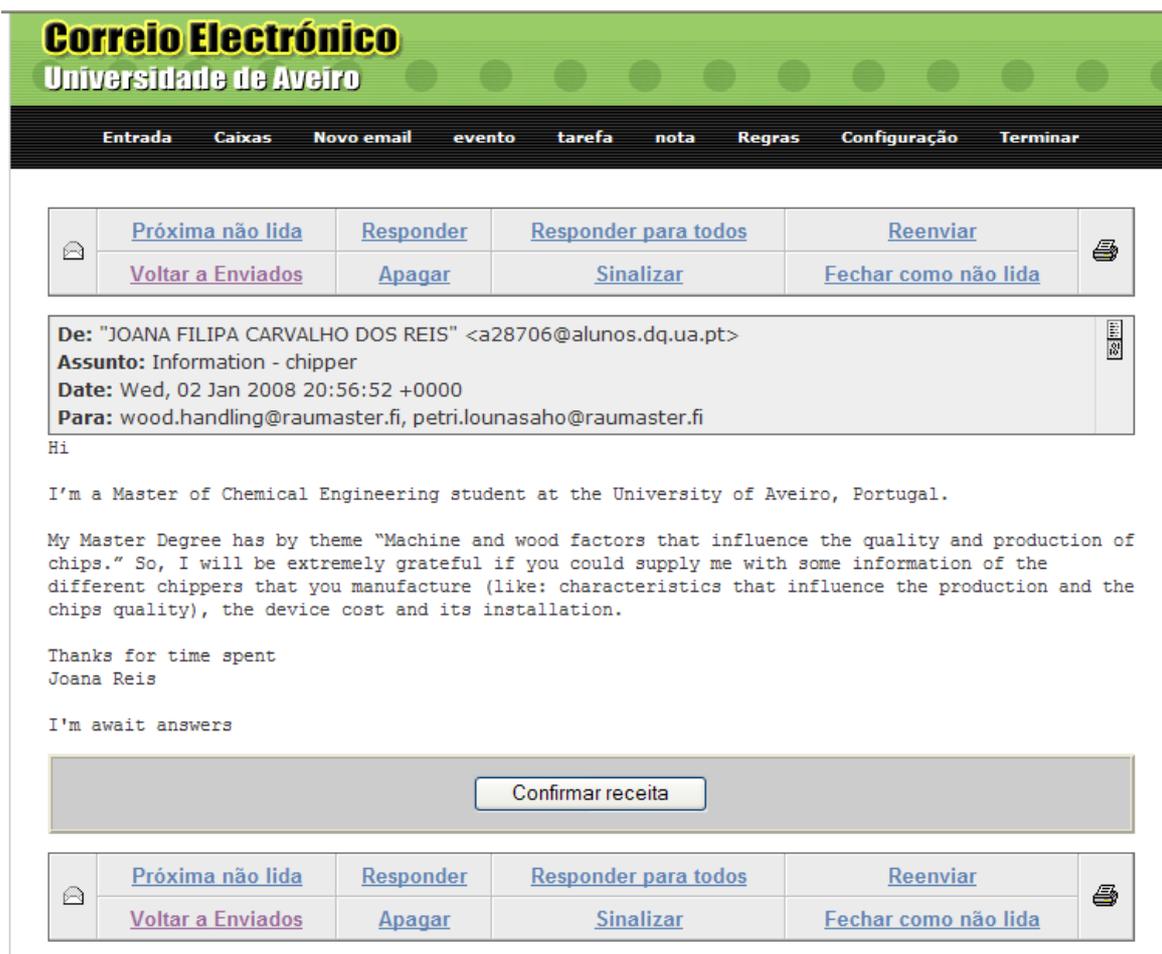
Figura B.5 – Print Screen do mail enviado à Empresa Demuth.



Figura B.6– Print Screen do mail enviado ao Engenheiro João Martins da CelTejo.



**Figura B.7**– Print Screen da Resposta obtida ao mail enviado ao Engenheiro João Martins da CelTejo.



**Figura B.7**– Print Screen do mail enviado à Empresa RaumaMaster.

### 8.3. Apêndice C – Simulação Bancária

O custo da instalação para um destroçador de discos capaz de processar cerca de  $255 \text{ sm}^3 / \text{h}$  é de 800 000,00€ a 1 000 000,00€. O montante a contrair empréstimo é:

$$\frac{\text{Custo do equipamento}}{0,60} = \frac{1\ 000\ 000,00\text{€}}{0,60} = 1\ 670\ 000,00\text{€}$$

Mais 10% para as contingências: 1 840 000,00€

CGD/CREDITO		*** SIMULACAO DO PLANO FINANCEIRO MENSAL ***					CH062	
EMPRESTIMO ==> 0000 000000 085 0000								
MOEDA : EUR		VALORES POR PRESTACAO						
DATA ANO/PRT	AMORTIZAC.	JURO PAG.	DIVERSOS	TOTAL PAGAR	JURO CAPT	CAPITAL	DIVD	
08/03 01/001	14.636,35	10.034,29	402,47	25.073,11	0,00	1.825.363,65		
08/04 01/002	14.716,16	9.954,48	399,28	25.069,92	0,00	1.810.647,49		
08/05 01/003	14.796,42	9.874,22	396,07	25.066,71	0,00	1.795.851,07		
08/06 01/004	14.877,11	9.793,53	392,84	25.063,48	0,00	1.780.973,96		
08/07 01/005	14.958,24	9.712,40	389,60	25.060,24	0,00	1.766.015,72		
08/08 01/006	15.039,81	9.630,83	386,34	25.056,98	0,00	1.750.975,91		
08/09 01/007	15.121,83	9.548,81	383,05	25.053,69	0,00	1.735.854,08		
08/10 01/008	15.204,30	9.466,34	379,76	25.050,40	0,00	1.720.649,78		
08/11 01/009	15.287,21	9.383,43	376,44	25.047,08	0,00	1.705.362,57		
08/12 01/010	15.370,58	9.300,06	373,10	25.043,74	0,00	1.689.991,99		
09/01 01/011	15.454,40	9.216,24	369,75	25.040,39	0,00	1.674.537,59		
09/02 01/012	15.538,68	9.131,96	366,38	25.037,02	0,00	1.658.998,91		
09/03 02/013	15.623,42	9.047,22	362,99	25.033,63	0,00	1.643.375,49		
TOTAL	196.624,51		4.978,07	325.696,39	0,00			
PF7 - PAG.ANT		124.093,81					ENTER - SAIDA	

Nota:

O capital em dívida no início é de 1 840 000,00 €.

O juro a pagar resulta da aplicação da taxa de juro ao capital em dívida no mês.

O total a pagar resulta da soma do juro a pagar, dos diversos e da amortização.

Os diversos vão diminuindo ao mesmo tempo que o capital em dívida diminui.

A amortização mais o juro é igual ao longo dos 8 anos.

O total a pagar diminui ao longo dos 8 anos devido aos diversos. Mais concretamente, devido ao seguro de crédito.

*Glossário:*

Amortização – Valor reduzido ao capital em dívida todos os meses;

Diversos – Resulta da aplicação de despesas administrativas fixas e do seguro de crédito;

Euribor – Taxa referência do Banco Central (~4,75%);

Juro Pag. – Montante de juros pago em cada mês;

Spread – Taxa que o banco acresce à Euribor, neste caso é de 1%