

# Retrospectiva de 100 anos de progresso na fabricação de papel

## *Looking back on 100 years of progress in papermaking*

Autor/Author\*: Herbert Holik<sup>1</sup>

**Palavras-chave:** Ciclos de Kondratieff, histórico do desenvolvimento da indústria de papel

### RESUMO

O artigo descreve mudanças técnicas e tecnológicas na fabricação de papel desde aprox. o ano de 1900, mostrando como a indústria papelreira tem feito uso do progresso técnico global. Os principais passos no sentido do desenvolvimento podem ser descritos, por exemplo, pelos ciclos de Kondratieff, em que inovações básicas têm um impacto dominante na técnica, na economia e na sociedade. É mostrado o efeito sobre a fabricação de papel. Novas descobertas em ciências básicas também resultam no aprimoramento ou na introdução de novos processos técnicos e maquinaria na indústria papelreira. A economia, a qualidade e o meio ambiente são algumas das forças impulsionadoras mais desafiadoras da indústria, principalmente em termos de produção de papel, sendo descrita a resposta da indústria papelreira quanto à composição da massa para papel, preparação da massa, tecnologia papelreira e fabricação de papel. Também estão relacionados alguns desvios, caminhos enganosos ou produtos excepcionais. Uma breve perspectiva para o futuro finaliza o trabalho.

### INTRODUÇÃO

Uma retrospectiva de 100 anos de fabricação de papel é uma história de progresso e sucesso em termos de técnica papelreira e tecnologia. Na maior parte dos países, a indústria papelreira não figura entre os grandes ramos da indústria, sendo limitados os seus recursos para pesquisa e desenvolvimento. Tanto mais razão para esta indústria fazer o melhor uso possível do conhecimento e das ferramentas oferecidas pelas principais correntes técnicas e ciências básicas. Correntes técnicas principais encontram-se, por exemplo, nos chamados ciclos Kondratieff, que são definidos pelo fato de certas inovações básicas nos ciclos terem um impacto dominante sobre a técnica, a economia e a sociedade. Os

**Keywords:** Kondratieff cycles, review of the paper industry development

### ABSTRACT

*The paper describes technical and technological changes in papermaking since about 1900. It shows how the paper industry had made use of the overall technical progress. Main steps forward can be described for instance by the Kondratieff cycles, where basic innovations have an overwhelming impact on technique, economy and society. The effect on papermaking is shown. New findings in basic sciences result in improved or new technical processes and machinery in the paper industry, too. Economy, quality and environment are some of the most challenging driving forces in the industry, especially in paper production. The response of the paper industry as regards furnish, stock preparation, paper technology and paper production is described. Some detours, misleading paths or exceptional products are listed as well. The paper ends with a short outlook to the future.*

### INTRODUCTION

*Looking back on 100 years of papermaking is a story of progress and success in paper technique and technology. The paper industry does not belong to the big industry branches in most countries, and its resources for research and development are limited. All the more this industry has to make best use of the knowledge and the tools offered by the technical main streams and basic sciences. Technical main streams are found for instance in the so called Kondratieff cycles. These are defined by the fact that in the cycles certain basic innovations have an overwhelming impact on technique, economy and society.*

#### \*Referências do Autor / Author's references:

1. Engenheiro-Diplomado – Ravensburg, Alemanha  
*Diplome-Ingenieur – Ravensburg, Germany*

E-mail: u.h.holik@t-online.de

Baseado em trabalho apresentado no Congresso ABTCP-PI, em 29 de outubro de 2009, em São Paulo (SP).

*Based on a paper given at the ABTCP-PI Congress, October 29, 2009, São Paulo (SP).*

ciclos Kondratieff serão objeto de uma breve explicação, sendo também indicados os benefícios de suas inovações básicas para a indústria papelreira.

Desde aproximadamente 1900, a pesquisa tem exercido uma influência cada vez maior sobre o progresso técnico e industrial, de modo que as ciências básicas e o melhor conhecimento técnico geral constituíram uma fonte adicional para melhoramentos na indústria papelreira. Exemplos serão fornecidos a seu tempo.

As principais forças impulsoras da indústria são a economia, a qualidade e o meio ambiente. A resposta da indústria papelreira é descrita nos campos da matéria-prima (fibras virgens e recicladas), preparação de massa (equipamentos e sistemas) e tecnologia papelreira (projeto e formulação), bem como na área do meio ambiente e utilidades (energia e consumo de água). O progresso, em termos de projeto e operação da máquina de papel, também será mencionado (velocidade, largura). Nem é preciso dizer que as inovações e produtos mencionados não descrevem nem de longe o quadro completo, já que são fruto de uma seleção mais subjetiva.

Nem todos os desenvolvimentos e novas ideias foram bem-sucedidos, alguns deles tendo se constituído em desvios ou caminhos enganosos. São fornecidos exemplos e enumerados alguns produtos excepcionais e pouco usuais. Por fim, será posta uma breve perspectiva para o futuro.

## O IMPACTO DOS CICLOS DE KONDRATIEFF NA INDÚSTRIA PAPELEIRA

### Os ciclos Kondratieff

Os ciclos de Kondratieff são denominados segundo o seu descobridor, o russo Nikolai Dmitrievitch Kondratieff (1892-1938). Ele analisou as flutuações cíclicas, as ascensões e declínios da economia mundial desde o início da industrialização. Obteve ciclos de longa duração (40 a 60 anos) após haver eliminado ciclos de curta e média extensão (tais como os ciclos de Kitchin, de até 3 anos, e os de Juglar, de até 11 anos, respectivamente). Os ciclos Kondratieff parecem capazes de descrever a mudança em estruturas econômicas, técnicas e sociais no seu todo. Após o falecimento de Kondratieff (morto sob Stálin devido a suas ideias demasiado progressistas), J. A. Schumpeter e Leo A. Nefiodow (1) continuaram essa análise. Assim sendo, está disponível um panorama completo, desde o início da industrialização até os dias atuais.

Os ciclos Kondratieff são caracterizados por inovações básicas, uma ou duas por ciclo no passado. Seu efeito é determinar, por décadas, a velocidade e a direção do mercado das inovações principais, na forma de um conjunto de novas e conhecidas tecnologias. Eles são a força impulsora para a economia como um todo. Desempenham um papel decisivo para o crescimento econômico em escala mundial

*The Kondratieff cycles will be shortly explained and the benefits of their basic innovations for the paper industry shown.*

*Since about 1900, research has influenced more and more the technical and industrial progress, so basic sciences and better general technical knowledge were a further source for improvements in the paper industry. Examples will be given.*

*Main driving forces in the industry are economy, quality and environment. The response of the paper industry is described in the fields of raw material (virgin and recycled fibres), stock preparation (machinery and systems) and paper technology (design and recipe) as well as in the field of environment and resources (energy and water consumption). The progress in paper machine design and operation will also be mentioned (speed, width). It goes without saying that the mentioned innovations and products by far do not describe the complete picture, as they are a more subjective selection.*

*Not all developments and new ideas were successful; some were detours or misleading paths. Examples are reported and some exceptional, unusual products are listed. Finally, a short look to the future will be given.*

## THE IMPACT OF THE KONDRATIEFF CYCLES ON THE PAPER INDUSTRY

### The Kondratieff cycles

*The Kondratieff cycles are named after his "finder", the Russian Nikolai Dimitrijewitsch Kondratieff (1892-1938). He analysed the cyclical fluctuations, the upswings and downturns in the worldwide economy since the beginning of the industrialization. He found long time cycles (40 to 60 years) when having filtered out short term (such as Kitchin cycles, up to 3 years) and mean term cycles (such as Juglar cycles, up to 11 years). Kondratieff cycles seem to be able to describe the change in economic, technical and social structures as a whole. After Kondratieff's death (he was killed under Stalin due to his too progressive ideas) J. A. Schumpeter and Leo A. Nefiodow (1) continued this analysis. So, a full picture from the beginning of industrialization until today is available.*

*Kondratieff cycles are caused by basic innovations, one or two per cycle in the past. Their effect is that they determine for decades speed and direction of the main innovation market as a bundle of new and known technologies. They are the driving force*

por décadas, oferecendo bens e serviços em novas áreas de escassez e desejos humanos. São indicadores de uma inovação básica despesas visivelmente altas em P&D nesse campo, elevada dinâmica de mercado e alto crescimento econômico, bem como elevado volume de mercado dentro de um curto período de tempo.

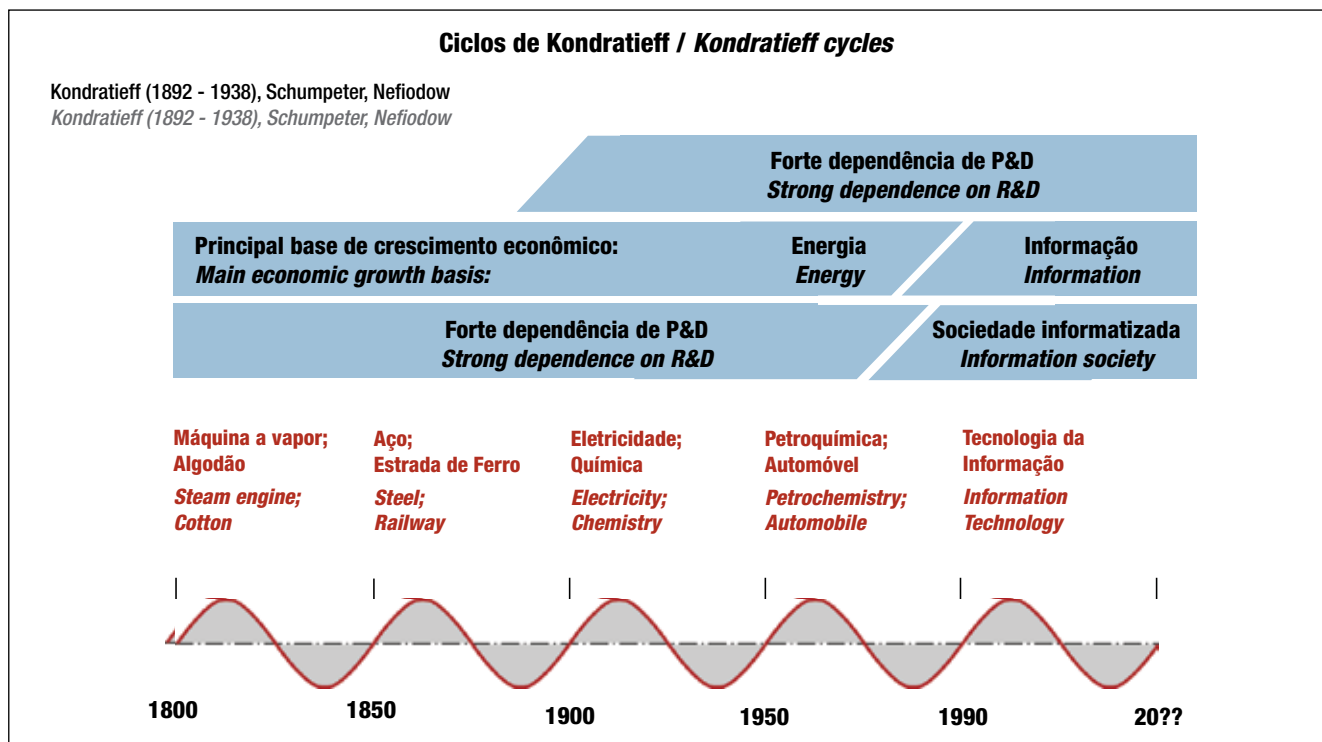
A **Figura 1** apresenta os cinco ciclos Kondratieff, principiando por volta de 1800 e estendendo-se até o presente. O primeiro ciclo Kondratieff durou aproximadamente de 1800 até 1850, podendo ser definido como o início da industrialização. Constituiu a transição da sociedade agrícola para a industrial. Suas inovações básicas foram a “Máquina a vapor” e o “Algodão”. As inovações básicas no segundo ciclo Kondratieff (a partir de aprox. 1850) foram o “Aço” e a “Estrada de Ferro”, no terceiro ciclo Kondratieff (a partir de aproximadamente 1900), a “Eletricidade” e a “Química”, no quarto (a partir de cerca de 1950), a “Petroquímica” e o “Automóvel”. A base principal para o crescimento econômico até aquela época foi a “Energia”. No quinto ciclo Kondratieff (desde cerca de 1990), a inovação básica é a “Tecnologia da informação”. Aqui ocorreu novamente uma transição, que foi da sociedade industrial para a informatizada e, desde então, a base principal para o crescimento econômico é a “Informação”.

As inovações básicas, a exemplo do progresso técnico geral, são promovidas, a partir de aproximadamente 1900, por atividades de P&D cada vez mais intensivas. Assim sendo, pode-se esperar que os períodos dos futuros ciclos Kondratieff serão cada vez mais curtos.

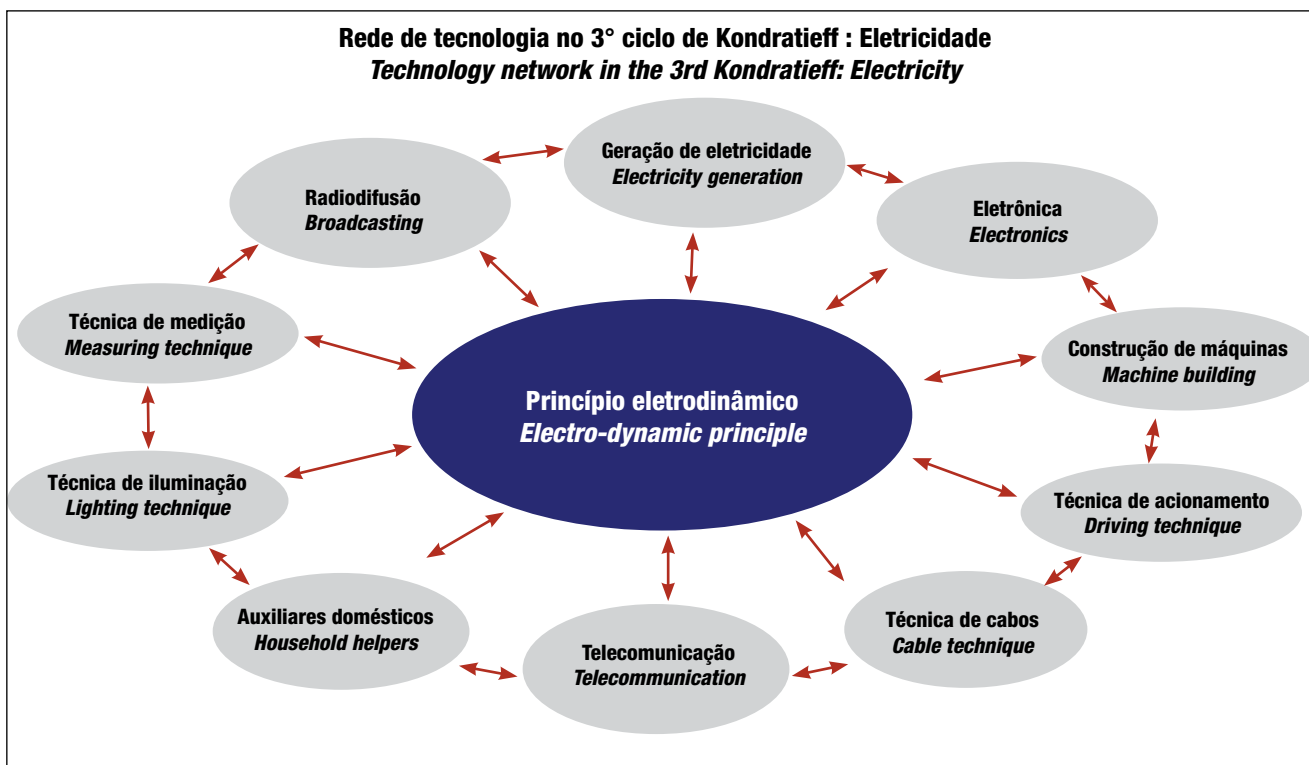
for the whole economy. They play a decisive role for the worldwide economic growth for decades by offering goods and services in new areas of men's shortage and wishes. Indicators for a basic innovation are noticeably high R&D expenses in this field, high market dynamics and high economic growth, as well as high market volume within a short time.

**Figure 1** shows the five Kondratieff cycles beginning around 1800, and leading to the present. The first Kondratieff lasted from about 1800 until 1850, and can be defined as the beginning of the industrialization. It was the transition from the agricultural to the industrial society. Its basic innovations were “Steam engine” and “Cotton”. Basic innovations in the second Kondratieff (since about 1850) were “Steel” and “Railway”, in the third Kondratieff (since about 1900) “Electricity” and “Chemistry”, in the fourth (since about 1950) “Petro-chemistry” and “Automobile”. Main basis for economic growth up to that time was “Energy”. In the fifth Kondratieff (since about 1990) the basic innovation is “Information technology”. Here again a transition took place, namely from the industrial to the information society, and, since then, main basis for economic growth is “Information”.

The basic innovations, as well as the general technical progress, are promoted by more and more intensive R&D since about 1900. So, it can be expected that the periods of the future Kondratieff cycles will be shorter and shorter.



**Figura 1.** Os cinco ciclos de Kondratieff e suas inovações básicas (1) / **Figure 1.** The five Kondratieff cycles and their basic innovations (1)



**Figura 2.** A rede de tecnologia da inovação básica “Eletricidade”, com o seu núcleo “Princípio eletrodinâmico” (1)  
*Figure 2.* The technology network of the basic innovation “Electricity” with its core “Electrodynamic principle” (1)

Na **Figura 2**, a rede de tecnologia da inovação básica “Eletricidade” é apresentada a título de exemplo. O seu núcleo ou cerne foi a descoberta do Princípio eletrodinâmico por Werner von Siemens, resultando num imenso número de setores industriais que dele se originaram.

### **O benefício dos ciclos Kondratieff para a indústria papelreira (2)**

As inovações básicas e as correntes técnicas principais, tal como foram descritas pelos ciclos de Kondratieff, exerceram uma forte influência no progresso da indústria papelreira. Alguns exemplos dos últimos 100 anos salientam o seu alto impacto. Algumas inovações foram introduzidas muito cedo na indústria do papel, até mesmo antes de o ciclo Kondratieff em questão ter despontado como o fator econômico, técnico e social dominante. Ou, então, foram introduzidas posteriormente, mas sempre em conexão com a inovação básica. Alguns exemplos são apresentados a seguir.

#### **Terceiro ciclo Kondratieff (aprox. 1900 – 1950)**

##### **Eletricidade: Acionamento**

A energia elétrica é fácil de ser transportada, distribuída e controlada. E é disso que a indústria papelreira necessita. Em épocas mais remotas, o acionamento das máquinas numa fábrica de papel era feito por uma roda hidráulica ou turbina hidráulica ou uma máquina a vapor, conjugadas com um longo eixo acionador a velocidade constante. Os ajustes da velocidade

*In Figure 2 the technology network of the basic innovation “Electricity” is shown as an example. Its nucleus or core was the finding of the Electrodynamical principle by Werner von Siemens, and resulted in a huge bundle of industry branches built on it.*

### **The benefit of the Kondratieff cycles for the paper industry (2)**

*The basic innovations and technical main streams, as described by the Kondratieff cycles, strongly influenced the progress in the paper industry. Some examples of the last 100 years point out their important impact. Some innovations were introduced very early into the paper industry, even before the related Kondratieff cycle showed up as the dominant economic, technical and social factor. Or they were introduced later, but always in connection with the basic innovation. Some examples are shown in the following.*

#### **Third Kondratieff cycle (about 1900 – 1950)**

##### **Electricity: Driving**

*Electrical energy is easy to transport, to distribute and to control. And this is what the paper industry needs. In earlier times, driving of the machines in a paper mill was done by a water wheel or water turbine or a steam engine, all with a long drive shaft at constant speed. Speed adjustment for the*

para as diferentes máquinas ou partes da máquina eram feitos por correias acionadoras e polias ou cones (**Figura 3**). Com a eletricidade, o acionamento pôde ser descentralizado, motores de CC (corrente contínua) estavam em uso por volta de 1900, transformadores Leonard (um motor de corrente alternada - CA - que aciona um gerador de CC que aciona um motor de CC) já tinham sido desenvolvidos. Para superar interrupções (muito breves) da rede elétrica – que nem sempre era muito estável –, eram eventualmente utilizados volantes. Nas décadas de 60 e 70 os motores retificadores de controle com tiristores ingressaram na indústria. As aplicações de acionamento eram operadas, em sua maior parte, com engrenagens. Atualmente já está introduzido o acoplamento direto dos motores aos eixos dos rolos. E acionamentos regenerativos produzem eletricidade em aplicações com sucessivos ciclos de aceleração e desaceleração (frenagem) (3).

#### **Química (4): Produtos químicos e cargas para papel**

Os benefícios mais importantes para a indústria papelreira, resultantes do crescimento e de um conhecimento mais aprofundado da química, ocorreram nos campos de branqueamento, cargas minerais e orgânicas, revestimento, auxiliares de retenção e químicos para papel.

- Agentes de branqueamento: Em branqueamento de celulose, o branqueamento de celuloses sulfato e sulfito com cloro em estágio único correspondia ao estado-da-arte por volta de 1920; e o branqueamento com cloro em dois estágios era no final da década de 40. O branqueamento com oxigênio, ozônio e peróxido foi introduzido no decorrer da década de 80.

Em 1906, ditionito de sódio era produzido em escala in-

*different machines or machine parts was done by driving-belts and pulleys or cones (**Figure 3**). With electricity, driving could be de-centralized, DC (direct current) motors were in use around 1900, Leonard transformers (alternating current – AC - motor drives a DC generator which drives a DC motor) were already found. To overcome a (very) short breakdown of the electric net - which was not always very stable - flywheels were partly used. In the 1960ies and 1970ies the rectifier control motors with thyristors entered the industry. Most of the driving applications were operated with gears. Nowadays direct coupling of the motors to the roll shafts is introduced. And regenerative drives produce electricity in applications with successive acceleration and deceleration (braking) cycles (3).*

#### **Chemistry (4): Paper chemicals and fillers**

*The most important benefits for the paper industry given by the growth and more in-depth knowledge of the chemistry were in the fields of bleaching, fillers, coating, retention aids and paper chemicals.*

- Bleaching agents: In pulp bleaching, one-stage chlorine bleaching of sulfate and sulfite pulps was state-of-the-art around 1920, the two-stage chlorine bleaching in the late 1940ies. Bleaching by oxygen, ozone and peroxide was introduced in the 1980ies.

*1906 natriumdithionite was produced in indus-*



**Figura 3.** Acionamento de uma máquina de papel de 185 cm de largura, em 1911 / **Figure 3.** Drive of a 185 cm wide paper machine in 1911

dustrial para o branqueamento de pasta mecânica; em 1927 foi introduzido o branqueamento com peróxido de sódio e, em 1952, o branqueamento com peróxido.

Fibras recicladas a partir de papel recuperado (DIP- papel recuperado destintado) são branqueadas com peróxido, ditio-nito e FAS (ácido sulfinico de formamidina) desde os anos 80.

- Auxiliares de retenção: Esses reduzem a consistência da água branca, contribuindo, assim, para um fechamento adicional dos circuitos de água, um dos grandes objetivos da indústria papelreira. Após um sistema de componente único (década de 20), na década de 50 foi introduzido o sistema de componente duplo, o sistema de micropartículas o foi na década de 70, e os sistemas de três e mais componentes, nos anos 80.

- Químicos para papel: Nos anos 40, resinas sintéticas de resistência a úmido começaram a ser usadas na produção de papéis higiênico e de embalagem. A aplicação de cola sintética surgiu nos anos 50, mas foram necessários cerca de 30 anos (década de 80) para que a produção de papel neutro se tornasse padrão. Nos anos 50, amido nativo era produzido em escala industrial, tendo também surgido os alvejantes ópticos. Corantes líquidos passaram a ser comercializadas nos anos 60.

- Cargas: Caulim como carga mineral já estava em uso antes de 1900. Na década de 50 foi introduzido carbonato de cálcio natural (GCC), enquanto nos anos 80 chegaram ao mercado cargas orgânicas e carbonato de cálcio precipitado (PCC), o que possibilitou a produção de cargas para fins específicos.

- Componentes de revestimento: Caulim já era usado como pigmento para revestimento antes de 1900, GCC passou a sê-lo a partir de aproximadamente 1975, sendo finalmente usado GCC nos anos 80 para revestimentos de alto teor de sólidos. Desde a década de 20, ligantes naturais foram sendo substituídos cada vez mais por ligantes sintéticos.

#### **Quarto ciclo Kondratieff (aprox. 1950 – 1990)**

##### **Petroquímica: Vestimentas da máquina e revestimentos de rolos (Figura 4)**

- Telas: O padrão inicial correspondia a telas de camada única, feitas de bronze. Em 1958 foi lançada no mercado (5) a primeira tela plástica feita com polietileno (inventado em 1953). Testes anteriores em diversos lugares, durante as décadas de 40 e 50, não tiveram sucesso principalmente devido à estabilidade dimensional muito baixa das telas em operação. Isto pôde ser superado pelo novo material e pela cura a quente das telas então fabricadas. Durante os 10 a 20 anos subsequentes, telas metálicas foram sendo substituídas cada vez mais por telas de poliéster ou poliamida. Os anos 70 e 80 foi período de otimização do desenho da tela formadora (duas e três camadas, com qualidade diferente no lado papel e no lado operação), para que fossem satisfeitas as exigências de um papel de superfície lisa, bem assim como de tela de

*trial scale for groundwood bleaching, 1927 natri-umperoxide bleaching, and 1952 peroxide bleaching were introduced.*

*Recycled fibres from recovered paper (DIP) are bleached with peroxide, dithionite and FAS since the 1980ies.*

- *Retention aids: These reduce white water consistency, and thus contribute to further closing the water circuits, one of the big goals in the paper industry. After a one-component system (1920ies), the dual-components system was introduced (1950ies), the microparticles system in the 1970ies, and the three- and more components systems in the 1980ies.*

- *Paper chemicals: In the 1940ies, synthetic wet strength resins started to be used in production of sanitary and packaging papers production. Synthetic sizing came up in the 1950ies, but it took about 30 years (1980ies) that neutral paper production became standard. In the 1950ies, native starch was produced in industrial scale, and optical brighteners came up as well. Liquid colours came on the market in the 1960ies.*

- *Fillers: Kaolin as fillers has been already used before 1900. In the 1950ies ground calcium carbonate (GCC) was introduced, in the 1980ies organic fillers and precipitated calcium carbonate (PCC) came to the market, allowing tailor-made filler shape.*

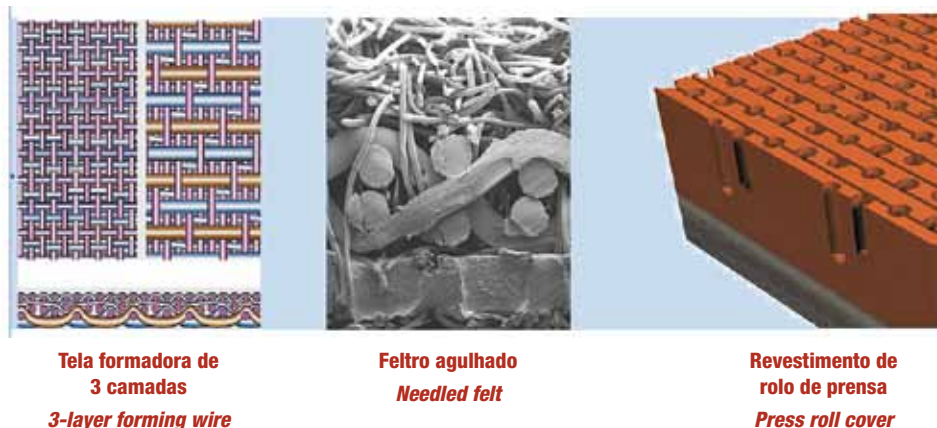
- *Coating components: Kaolin was used as coating pigments already before 1900, GCC since about 1975, and finally GCC was used in the 1980ies for high solid coating. Since the 1920ies natural binders were more and more replaced by synthetic binders.*

#### **Fourth Kondratieff cycle (about 1950 – 1990)**

##### **Petrochemistry: Machine clothing and roll covers (Figure 4)**

- *Wires: Early standard were single layer wires made of bronze. In 1958 the first plastic wire made from polyethelene (invented in 1953) was launched to the market (5). Earlier tests at several places in the 1940ies and 1950ies had not been successful mainly due to very poor dimension stability of the wires in operation. This could be overcome by the new material and by heat setting of the produced wire. Over the next 10 to 20 years metal wires were more and more replaced by wires made from polyester or polyamide. The 1970ies and 1980ies were the time of optimizing the forming fabric design (two and three layers with different layer quality at the paper and at the running sides) to meet the require-*

**Benefícios para a indústria papelreira em função do 4º ciclo de Kondratieff**  
**Benefits for the paper industry by the 4<sup>th</sup> Kondratieff**



**Figura 4.** Exemplos de desenhos modernos de telas (lado superior, lado inferior e corte transversal), feltros (corte transversal) e revestimentos de rolos (com ranhuras e furos) / **Figure 4.** Examples of modern designs of wires (top side, bottom side and cross section), felts (cross section) and roll covers (with grooves and holes)

baixo desgaste e de alta estabilidade dimensional, inclusive no sentido transversal da máquina (CD).

- Feltros: Em épocas mais antigas, os feltros das prensas eram tecidos e feitos de lã. Feltros sintéticos agulhados surgiram nos anos 60. Com a nova técnica, eles puderam ser desenhados para finalidades específicas – por exemplo, quanto à posição da prensa – e foram constantemente otimizados. Eles apresentam alta capacidade de desaguamento, superfície lisa para alta qualidade do papel, baixo desgaste e boa estabilidade dimensional.

- Telas secadoras: Por longo tempo foram usados feltros secadores feitos de lã, por motivos de qualidade e operabilidade (*runnability*). A partir dos anos 60/70 foram sendo substituídos por telas sintéticas, quando essas foram capazes de resistir ao ambiente úmido e quente da seção de secagem.

- Revestimentos de rolos: Aqui a importante transição, em termos de material, foi passar da borracha pura para borracha sintética, inventada em 1909 por F. Hofmann (patente alemã de N° 250.690). Isso constituiu ponto de partida para soluções melhoradas, que passaram posteriormente para a indústria papelreira. Na década de 80 foram introduzidos revestimentos de poliuretano, que permitiram, por exemplo, o “nip de prensa projetado”. Isso significa que exigências de desaguamento puderam ser satisfeitas mesmo para elevadas cargas de nip, mediante aplicação de material de cobertura ideal, usando-se revestimentos ranhurados ou perfurados e desenho apropriado do feltro.

Os anos 80 presenciaram o início da calandragem macia (*soft*), possibilitada por um revestimento relativamente

*ments of a smooth paper surface, as well as of low wear and high dimension stability of the wire, also in cross machine direction (CD).*

- *Felts: In earlier times, the press felts were woven and made from wool. Synthetic, needled felts came up in the 1960ies. With the new technique they could be designed to the special purpose - for instance, as regards the press position - and were steadily optimized. They show high dewatering capacity, smooth surface for high paper quality, low wear and good dimension stability.*

- *Dryer fabrics: For a long time, dryer felts made of wool were used for quality and runnability reasons. Since the 1960ies/1970ies they were substituted by synthetic fabrics, when these were able to withstand the humid and hot environment in the dryer section.*

- *Roll covers: Here the important transition on the material sector was from pure rubber, caoutchouk to synthetic caoutchouk, invented 1909 by F. Hofmann (German Patent N. 250.690). It was the starting point for improved solutions, which followed later in the paper industry. In the 1980ies, polyurethane covers were introduced, which allowed, for instance, the “designed press nip”. This means that dewatering requirements could be met also for high nip loads by selecting the optimum cover material, using grooved or drilled covers and adjusted felt design.*

*The 1980ies saw the start of soft calendering, relying on relatively soft cover made of polyurethane*

mole de poliuretano, mas que possibilita, ao mesmo tempo, elevadas forças lineares. Isso resulta em nip relativamente largo. Nos anos 90, o progresso no desenvolvimento dos revestimentos de poliuretano levou à substituição dos rolos de papel das supercalandras, o que viabilizou a calandragem de papel on-line com qualidade SC (supercalandrada) até mesmo nas altas velocidades de máquina.

### Automóvel

Pode-se imaginar o que seria ou não seria possível sem a flexibilidade permitida pelo automóvel, seja para o fornecimento de matérias-primas à fábrica de papel, para entrega dos produtos ao cliente, o transporte interno na fábrica ou a rápida reação para contato pessoal com o cliente.

### Quinto ciclo Kondratieff (a partir de aprox. 1990)

O benefício para a indústria papelreira a partir da inovação básica “Tecnologia da informação” traduziu-se em forma de informações e sistemas de controle na produção e organização, proporcionando meios poderosos para medição, controle, documentação e análise. Eis alguns exemplos do progresso:

- 1950: a consistência e o nível são controlados, isso mediante dispositivo hidráulico atuando sobre válvula de regulação.

- 1952: foi instalado o primeiro sistema de controle da gramatura (AccuRay).

- Anos 60: sala de controle central, controle por relés com fiação fixa e regulador pneumático, controle de gramatura e umidade com grandes computadores.

- Anos 70: sistema de controle com fiação fixa, sua sala de controle central equipada com um painel de comando de até 30 m de largura; surgiu o sistema de detecção de defeitos da folha de papel.

- Anos 80: sistema de controle livremente programável.

- Anos 90: controle descentralizado com PC.

- Anos 90: sistema de modelo preditivo de controle modelando o processo ou o sistema em causa, o sistema atinge mais rapidamente a condição pré-fixada. Usado, p. ex., para mudanças rápidas de fabricação na máquina de papel ou controle de alvura no branqueamento de fibras recicladas.

- Desde o ano 2000: desenvolvimento de sensores virtuais para medição indireta on-line de uma propriedade que não pode ser medida on-line. Mediante a combinação lógica de propriedades mensuráveis on-line, o valor provável da propriedade desconhecida pode ser previsto.

### O suporte pelo progresso nas ciências e ferramentas-chave

Como antes mostrado, muitas inovações na indústria papelreira foram possibilitadas por via do progresso técnico prevaiente nas inovações básicas dos vários ciclos Kondratieff. Mas também houve a permeação constantemente crescente da ciência em todos os ramos da indústria e o forte

*which allows, at the same time, high line forces. This results in a relatively long nip. In the 1990ies the progress in development of the polyurethane covers lead to the replacement of paper rolls in supercalenders. This enabled online-calendering of paper with SC-quality even at high machine speeds.*

### Automobile

*One can imagine what would be or not be possible without the flexibility given by the automobile either for the supply of raw materials to the paper mill, the delivery of the products to the customer, the mill-internal transport or a quick reaction by personal contact to the customer.*

### Fifth Kondratieff cycle (since about 1990)

*The benefit for the paper industry from the basic innovation “Information technology” were information and control systems for production and organization providing powerful means for measuring, controlling, documenting and analysing. Here some examples of the progress:*

- 1950: consistency and level are controlled, whereby a hydraulic control operated the throttle valve.

- 1952: the first basis weight control system has been installed (AccuRay).

- 1960ies: central control room, fix wired relay control and pneumatic regulator, basis weight and moisture control with large computers.

- 1970ies: fix wired control system, their central control room equipped with an up to 30 m wide control panel, paper web fault detection system came up.

- 1980ies: free programmable control system.

- 1990ies: de-central control with PC.

- 1990ies: model prediction control system modelling the process or system under consideration, the system reaches faster the pre-set condition, used, e. g., for fast grade changes on the paper machine or brightness control at bleaching of recycled fibres.

- Since 2000: development of soft sensors for indirect on-line measurement of a property which cannot be measured on-line. By logic combination of on-line measurable properties, the probable value of the unknown property can be predicted.

### The support by progress in key sciences and tools

*As shown before, many innovations in the paper industry were enabled through the prevailing technical progress in the basic innovations of the various Kondratieff cycles. But there were also the steadily increasing permeation of science into all branches*

apoio de melhorado conhecimento fundamental. Tudo isso ajudou a compreender melhor processos e máquinas, o que, por sua vez, resultou em aprimoramentos e novos produtos na indústria papelreira.

Alguns exemplos (**Figura 5**): As ciências e tecnologias básicas, tais como ciências dos materiais, a dinâmica dos fluidos e a termodinâmica, assim como as poderosas ferramentas associadas, ou seja: FEM (Finite Element Method - Método de Elementos Finitos), CAD (Computer Aided Design - Desenho Auxiliado por Computador) ou CFD (Computational Fluid Dynamics - Dinâmica Computacional dos Fluidos), todas se beneficiaram do enorme progresso havido na técnica da computação.

### Ferramentas

O FEM (Método de Elementos Finitos, nome comumente usado desde a década de 70) teve predecessores desde o século XIX. Seu primeiro uso prático ocorreu nos anos 50 para o cálculo estrutural de asas de aviões. Atualmente é aplicado em todas as áreas técnicas, inclusive na previsão do tempo. Na indústria papelreira ele é utilizado, por exemplo, para o cálculo do movimento vibratório de peças ou seções de máquinas, o que possibilitou projetos para velocidades de máquina mais altas ou para a análise de tensões de cilindros para tissue (Yankees), com vistas a operação segura.

O CAD (Desenho Auxiliado por Computador) foi introduzido no início dos anos 80, tendo revolucionado os escritórios de projetos das empresas fornecedoras de máquinas de papel e nas próprias fábricas de papel.

A CFD (Dinâmica Computacional dos Fluidos) fornece

*of the industry, and the strong support by improved fundamental knowledge. All this helped to better understand processes and machines which, in turn, resulted in improvements and new products in the paper industry.*

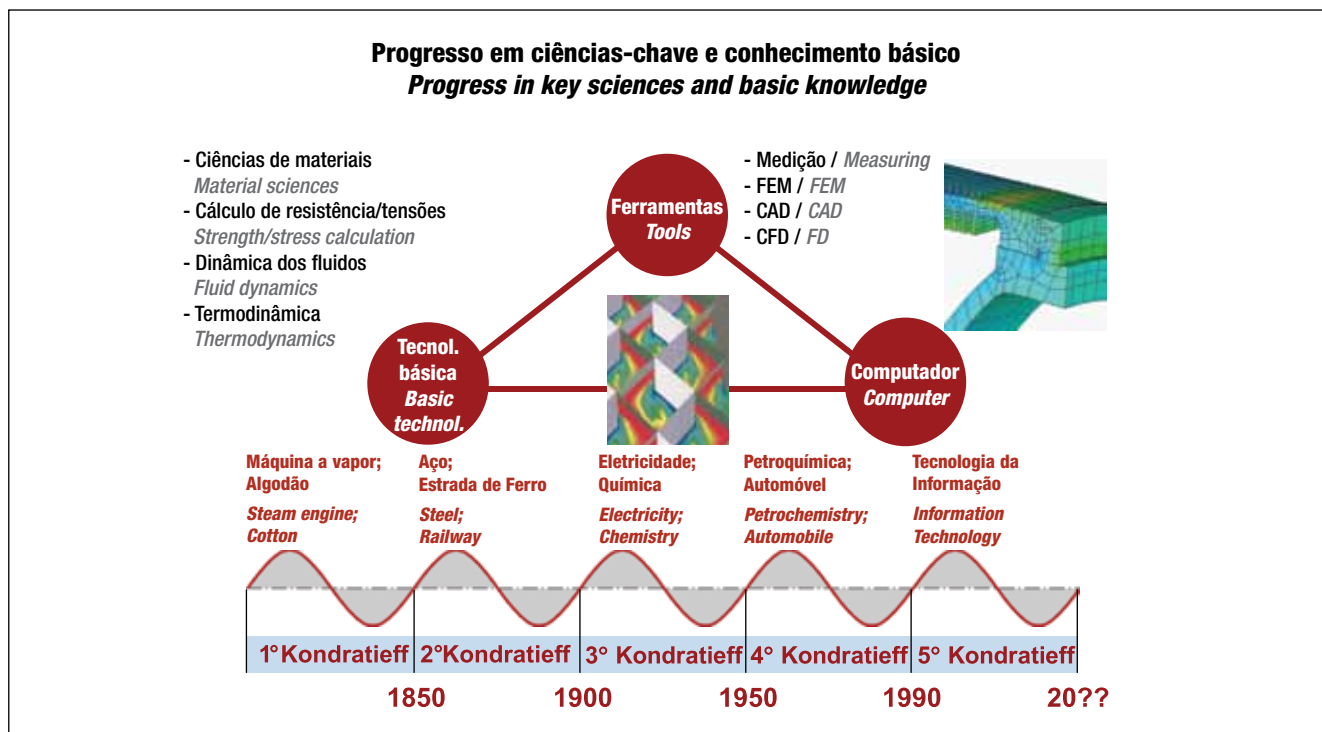
*Some examples (Figure 5): Basic sciences and technologies such as material sciences, fluid dynamics and thermodynamics and related powerful tools such as FEM, CAD or CFD, both profited from the tremendous progress in computer technique.*

### Tools

*The FEM (Finite Element Method, name commonly used since the 1970ies) had predecessors since the 19<sup>th</sup> century. First practical use was in the 1950ies for structure calculation of airplane wings. Today it is applied in all technical areas, including weather forecast. In the paper industry it is applied, for instance, to calculate vibratory movement of machine parts or sections, which enabled design for higher machine speeds, or for stress analysis of tissue cylinders for safe operation.*

*CAD (Computer Aided Design) was introduced early in the 1980ies, and revolutionized the drawing-offices of the paper machine suppliers companies, as well as in the paper mills.*

*CFD (Computational Fluid Dynamics) delivers*



**Figura 5.** Exemplos de progresso em ciências-chave e melhor conhecimento dos princípios fundamentais que dão apoio a inovações na indústria papelreira / **Figure 5.** Examples for the progress in key sciences and better knowledge in basics supporting innovations in the paper industry

uma solução aproximada, substituindo ensaios dispendiosos e demorados e permitindo o estudo de múltiplas variações.

### Técnica de medição

Na década de 70 teve início a detecção on-line de defeitos da folha de papel e a medição do tamanho de microfuros (*pinholes*), o que possibilitou caracterizar quantitativamente a qualidade da folha. Atualmente a medição on-line da folha de papel produzida é procedimento padrão, sendo o desenvolvimento mais recente a medição da formação da folha úmida sobre a tela.

A medição do perfil transversal (CD) e seu controle requeriam o manuseio de uma enorme quantidade de dados, sua coleta, armazenagem, combinação lógica e exibição dos resultados. Isto só se tornou possível graças à capacidade sempre crescente dos computadores.

A conclusão que se tira é ser recomendável dar uma olhada para além da cerca da própria indústria para verificar o que poderia ser favorável à indústria papelreira – e felizmente isso foi feito no passado.

### IMPULSORES DA TECNOLOGIA E SEU IMPACTO NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

#### Principais impulsores da tecnologia

Assim como na maior parte dos ramos da indústria, constituem importantes impulsores para a introdução de inovações a economia, a qualidade e o meio ambiente (Figura 6). A indústria papelreira responde com:

- uso de matérias-primas cada vez menos dispendiosas e, ao mesmo tempo, fabricando produto igual ou até mesmo melhor;

*an approximate solution, substituting expensive and time consuming trials, allowing the study of several variations.*

### Measuring technique

*In the 1970ies, the online detection of paper web defects and measurement of the size of pinholes started and enabled to quantitatively characterize web quality. Today, online measurement of the produced paper web is standard, newest development is formation measurement of the wet web on the wire.*

*CD profile measurement and its control required the handling of an enormous amount of data, collecting, storing, logically combining them and displaying the results. This was only possible with the ever increasing power of the computers.*

*The conclusion is that it is advisable to have a look across the fence of the own industry in order to see what could be favourable for the paper industry - and fortunately it has been done in the past.*

### TECHNOLOGY DRIVERS AND THEIR IMPACT ON PAPERMAKING

#### Main technology drivers

*Like in most other industry branches, important drivers for innovations are economy, quality and environment (Figure 6). The paper industry responds with:*

- *use of less and less expensive raw material and produce at the same time an equal or even better product;*

### Importantes forças impulsoras para inovações Important driving forces for innovations

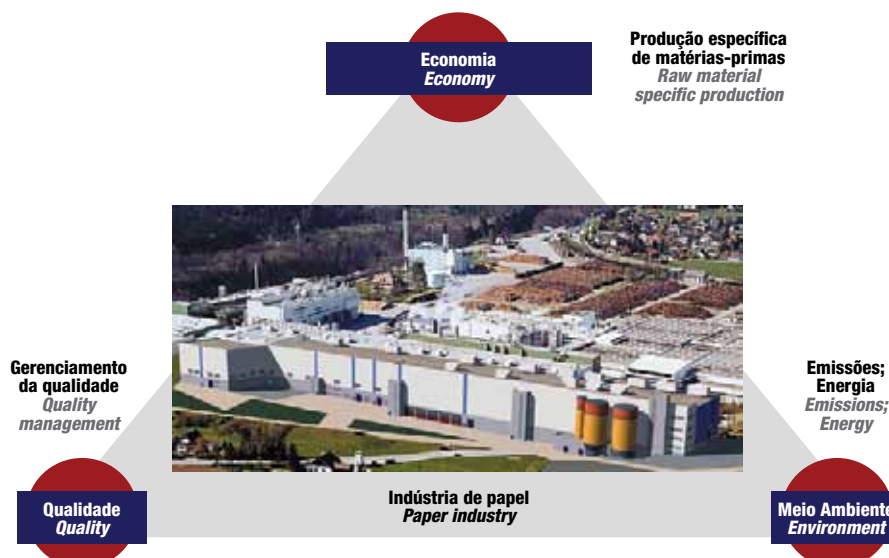


Figura 6. Importantes forças impulsoras para inovações na indústria papelreira / Figure 6. Important driving forces for innovations in the paper industry

- maior rendimento em termos de uso de energia e matérias-primas, principalmente no que se refere a papel recuperado, o que também é extensivo à separação e preparação dos rejeitos para uso posterior;
- maior produção por unidade de máquina e efetivo humano;
- gerenciamento da qualidade durante todo o processo em alto nível;
- controle e redução de emissões de água, ar e ruídos, e diminuição do consumo de energia.

Em épocas passadas, as fábricas de papel eram impulsionadas também em desenvolvimentos técnicos. Desde algumas décadas, porém, os fornecedores assumiram esta parte no campo de equipamentos e aditivos químicos. Atualmente, as fábricas de papel se concentram mais no desenvolvimento e aprimoramento do seu próprio produto, ou seja, papel ou cartão. Novos tipos de cooperação estratégica, que incluem a cadeia inteira (fornecedores de equipamentos e instalações, de aditivos químicos e minerais, papeleiros, impressores e convertedores), podem ser atualmente encontrados.

### Resposta da indústria papeleira quanto a fibras novas

#### Pasta mecânica (Figura 7)

Desde o final da década de 1840 passou a ser produzida pasta mecânica de desfibrador (SGW – Stone Groundwood), acabando com a extrema escassez de fibras que, na época, eram obtidas de trapos. Desde 1908 a carga de madeira do desfibrador era feita com magazine, a partir de 1922 a alimentação passou a ser contínua e, posteriormente, o

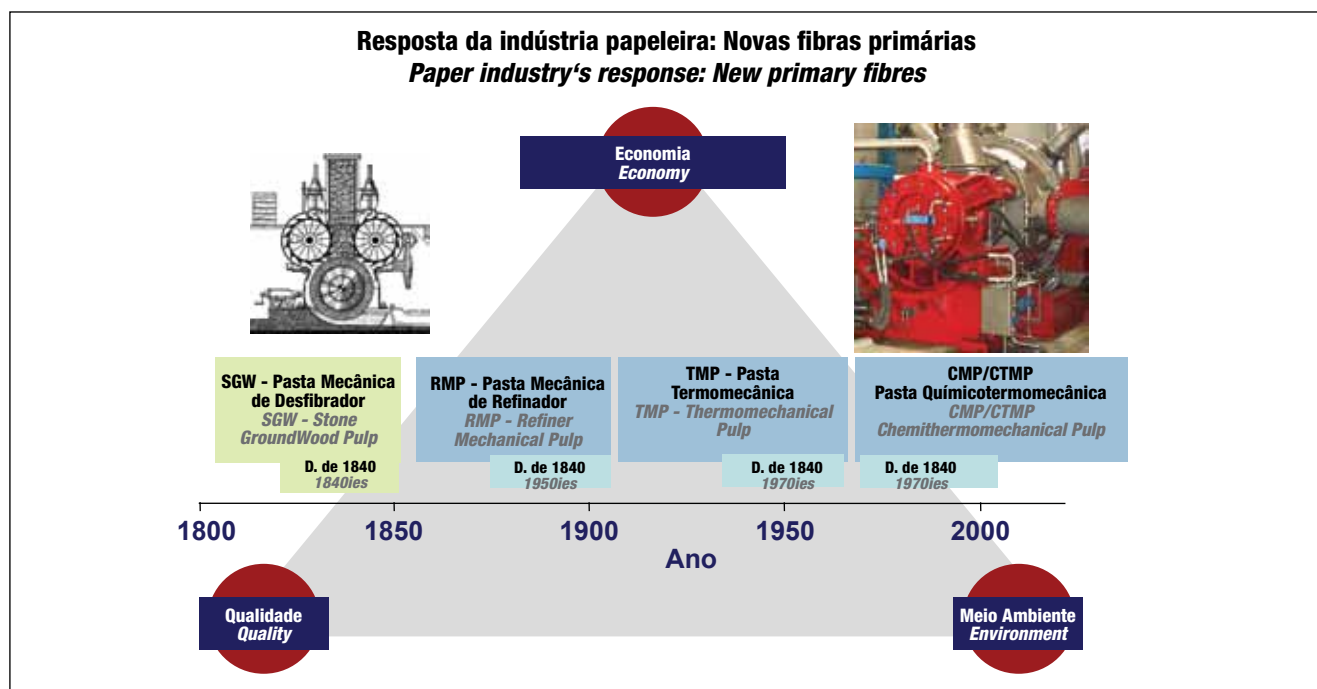
- higher yield in energy and raw material use, especially with recovered paper, which also extends to separation and preparation of the rejects for further use;
- higher production per machine unit and manpower;
- quality management throughout the whole process at high level;
- control and decrease of emissions of water, air and noise, and reduction of energy consumption.

*In former times, the paper mills were drivers also in technical developments. Since several decades the suppliers have taken over this part in the field of machinery and chemical additives. The paper mills today concentrate more on the development and improvement of their own product, namely paper or board. New kinds of strategic cooperation including the whole chain (suppliers of machinery and plants, of chemical and mineral additives, paper makers, printers and converters) can be found today.*

### Paper industry's response as regards primary fibres

#### Mechanical pulp (Figure 7)

*Since the end of the 1840ies, stone groundwood (SGW) pulp was available, terminating the extreme shortage of fibres which, at that time, came from rags. Since 1908, charging of the grinder with wood was done with a magazine; since 1922 feeding was continuous, and, later on, grinding was done under*



**Figura 7.** Novos processos e equipamentos para produção de fibras virgens / **Figure 7.** New processes and machinery for primary fibre production

desfibramento passou a ser feito a temperaturas elevadas, mediante aquecimento a vapor e, em parte, também sob pressão. Foi somente em 1956 (nos EUA e 1966 na Alemanha) que a indústria papelreira começou a fazer usos adicionais da importante fonte de matéria-prima que é a pasta mecânica obtida por processo inovador, a pasta mecânica de refinador RMP (Refiner Mechanical Pulp). Na década de 70 foi desenvolvida a produção de pasta termomecânica (TMP) e, posteriormente, a de pasta quimimecânica (CMP) e, ainda, a pasta quimitemomecânica (CTMP) no decorrer dos anos 70.

### Pasta química

Também na produção de pasta química foram desenvolvidos alguns processos novos, tais como ORGANOSOLV ou ASAM (Alkaline Sulfito Anthraquinone Methanol – Sulfito Alcalino Antraquinona e Metanol), mas um avanço realmente significativo não pôde ser realizado principalmente devido a problemas de recuperação, que não foram efetivamente solucionados.

“Plante e colha” tornou-se - e é hoje -, o lema na obtenção de fontes de matérias-primas para madeiras de fibra longa e curta e, entre nós, plantações de eucaliptos parecem ser a fonte de matéria-prima sustentável para a produção de papel de escrever e imprimir. A área disponível para o seu cultivo tem crescido com fator de cerca de 30 desde 1950 (6). O eucalipto também substitui madeira de fibra curta tropical, usada com frequência no final do século XX.

### Resposta da indústria papelreira na preparação de fibras virgens

Desde aproximadamente meados do século XVII a massa vinha sendo refinada em holandesas. A produção ocorria por bateladas. O primeiro refinador cônico (refinador Jordan, 1850) era um refinador de ângulo pequeno (normalmente até 35°); em 1910 foi introduzido o refinador de grande ângulo (cerca de 60°) e, finalmente, surgiu o refinador de discos, usualmente na versão de refinador de discos duplos, para produção duplicada. Um tipo especial de refinador apresenta ângulo de cone zero, ou seja, tem elementos rotativos cilíndricos.

A capacidade das máquinas aumentou: uma holandesa tinha capacidade de aprox. 10 t/dia, um refinador cônico, cerca de 100 t/dia, e um refinador de discos chega a atingir capacidade de cerca de 1000 t/dia (**Figura 8**). O desenho dos discos refinadores foi desenvolvido para refinação de baixa intensidade, do que resulta alto ganho de resistência e baixo aumento de ataque às fibras. Isso é importante, p. ex., para a refinação de fibras de eucalipto ou recicladas.

Devido às crescentes demandas de capacidade e à disponibilidade de máquinas de refinação contínua, aproximadamente todos os sistemas de preparação de polpa virgem mudaram de operação descontínua para contínua até o início da década de 60. Atualmente, um sistema de preparação de

*elevated temperature by steam heating, partly under pressure. It was not until 1956 (in the USA, 1966 in Germany) that the paper industry started to make further use of the important raw material source groundwood pulp by an innovative production process, the refiner mechanical pulp RMP. In the 1970ies thermomechanical pulp production was introduced, later in the 1970ies chemimechanical pulp CMP and chemithermomechanical pulp CTMP.*

### Chemical pulp

*Also in the chemical pulp production some new processes were developed, like ORGANOSOLV or ASAM (Alkaline Sulfito Anthraquinone Methanol), but a real breakthrough could not be noticed mainly due to recovery problems which had not been really solved.*

*“Plant and harvest” became and is today the motto in raw material sourcing for soft and hard woods. In Brazil eucalyptus plantations seem to be the sustainable raw material source for writing and printing paper production. The land area for its cultivation has grown by a factor of about 30 since 1950 (6). Eucalyptus also replaces tropical hardwood often used towards the end of the 20<sup>th</sup> century.*

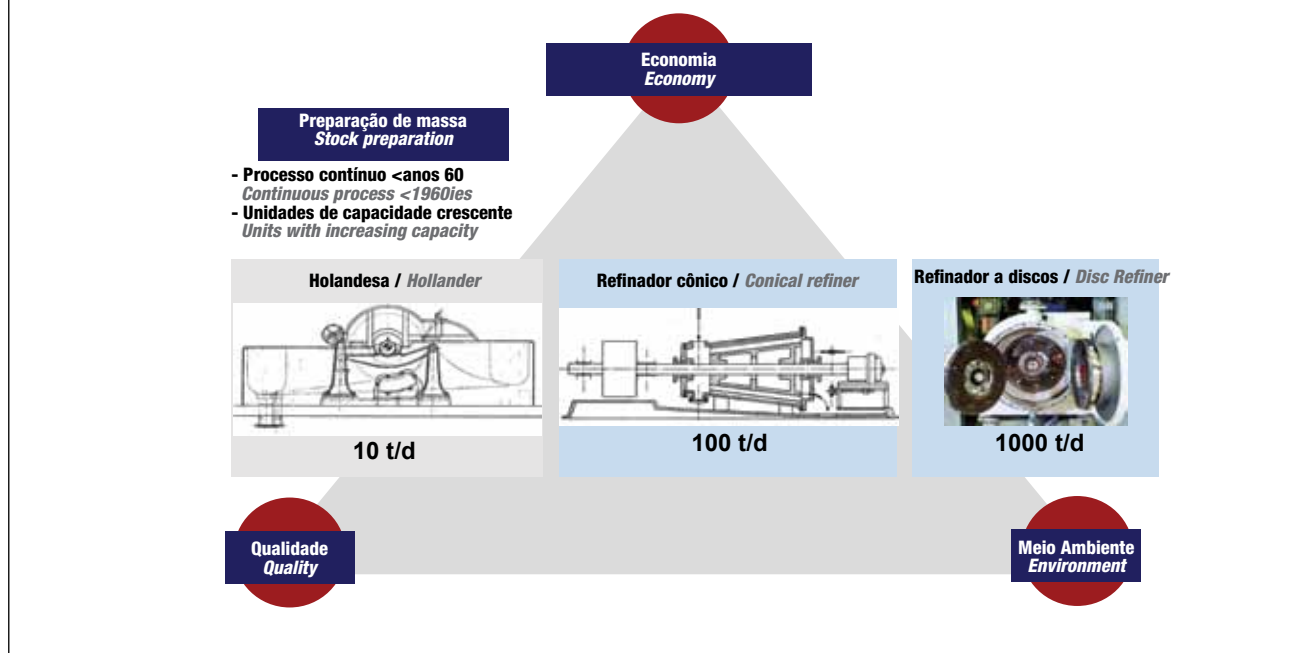
### Paper industry's response in primary fibre preparation

*Since about the middle of the 17<sup>th</sup> century the stock was refined in a Hollander. The production was batchwise. The first conical refiner (Jordan refiner, 1850) was a low angle refiner (usually up to 35 degrees), 1910 the wide angle refiner was introduced (about 60°), and finally the disc refiner, usually as a double disc refiner for doubled production. A special kind of refiner has a cone angle of zero, means cylindrical fillings.*

*The capacity of the machines increased: a Hollander had a capacity of ca. 10 t/day, a conical refiner about 100 t/day and a disc refiner comes up to a capacity of about 1000 t/day (**Figure 8**). The filling design has been developed for low intensity refining, resulting in high gain in strength and low freeness loss. This is important, e.g. for refining of eucalyptus or recycled fibres.*

*Due to increasing capacity requirements and the availability of continuous refining machines, more or less all preparation systems for virgin pulp had switched over from discontinuous to continuous operation until the beginning of the 1960ies. Today, a system for primary fibre preparation comprises*

## Resposta da indústria papelreira: preparação de fibras virgens Paper industry's response: virgin fibre preparation



**Figura 8.** Progresso na preparação de fibras virgens quanto a refino / **Figure 8.** Progress in virgin fibre preparation as regards refining

fibras novas (virgens) compreende: desagregação, depuração centrífuga em alta consistência, despastilhamento opcional (o primeiro despastilhador com rotores dentados surgiu em 1957) e refinação.

### Resposta da indústria papelreira na preparação de fibras secundárias

Desde o início, a indústria papelreira tem estado orientada para a reciclagem (vide tópico trapos). Em tempos passados, papel recuperado já era usado como recurso para obtenção de fibras, principalmente no setor de embalagens. Outra história bem-sucedida das fibras secundárias deu-se com sua crescente aplicação em papéis gráficos. Em épocas anteriores as fábricas de papel eram instaladas em lugares onde energia, água e a matéria-prima madeira fossem facilmente disponíveis. Agora, com a utilização de papel recuperado, as fábricas de papel baseadas em fibras secundárias são situadas na vizinhança de centros populosos, de modo a facilitar a “colheita” de papel recuperado.

Uma importante pré-condição para o uso efetivo de fibras secundárias é um eficiente sistema coletor de papel recuperado. A concepção quanto a se evitar degradação ganhou aceitação, mas, por outro lado, um melhoramento excessivo resulta dispendioso. Isto deveria ser evitado, sempre que possível, através de coleta seletiva e uso das diferentes qualidades de papel recuperado para tipos de papel correspondentes.

*disintegration, HC cleaning, optional deflaking (first deflaker with toothed filling rings came in 1957) and refining.*

### Paper industry's response in secondary fibre preparation

*Since the beginning, the paper industry had been recycling oriented (see rags). In early times recovered paper has been used as fibre resource, mainly in the packaging sector. A further successful story of secondary fibres began with their increasing application in the graphic paper grades. In former times the paper mills were installed where energy, water and the raw material wood were easily available. Now, with the use of recovered paper, the secondary fibre based paper mills are in the vicinity of population centres, so “harvesting” recovered paper is eased.*

*An important precondition for effective use of secondary fibres is a well-functioning collecting system for recovered paper. The conception of avoiding downgrading gained acceptance, on the other hand too much upgrading is costly. It should be avoided, whenever possible, by separate collection and use of the different recovered paper qualities for corresponding paper grades.*

Novas máquinas tiveram de ser desenvolvidas, os processos tornaram-se mais específicos, e foram desenvolvidos sistemas de um, dois ou três circuitos. A **Figura 9** conta um pouco da história.

- Tintas de impressão tinham de ser removidas das fibras e da suspensão a fim de possibilitar o uso de papel recuperado impresso em tipos de papel de maior qualidade. Assim, foi desenvolvida a célula de destintamento. As primeiras tentativas tiveram início na segunda metade da década de 50 (na Áustria e na Alemanha) e, em 1965, começou a operar, na Alemanha, a primeira célula de destintamento especialmente desenvolvida para a indústria papelreira. Na América do Norte, o destintamento por lavagem era o processo preferido. Na Europa, esse tipo de processo foi introduzido para remover cinzas, finos e microadesivos, tendo sido desenvolvida uma máquina de lavagem especial (Variosplit) em 1981.

- O desafio seguinte, na Europa, no final dos anos 60, foi o betume, ao serem recuperadas as caixas de embalagem de frutas e legumes procedentes do exterior. Durante esse período foi concedida grande quantidade de patentes com base em processos mecânicos, térmicos e químicos. Tornou-se procedimento padrão a dispersão a quente das partículas de betume que não puderam ser eliminadas na depuração.

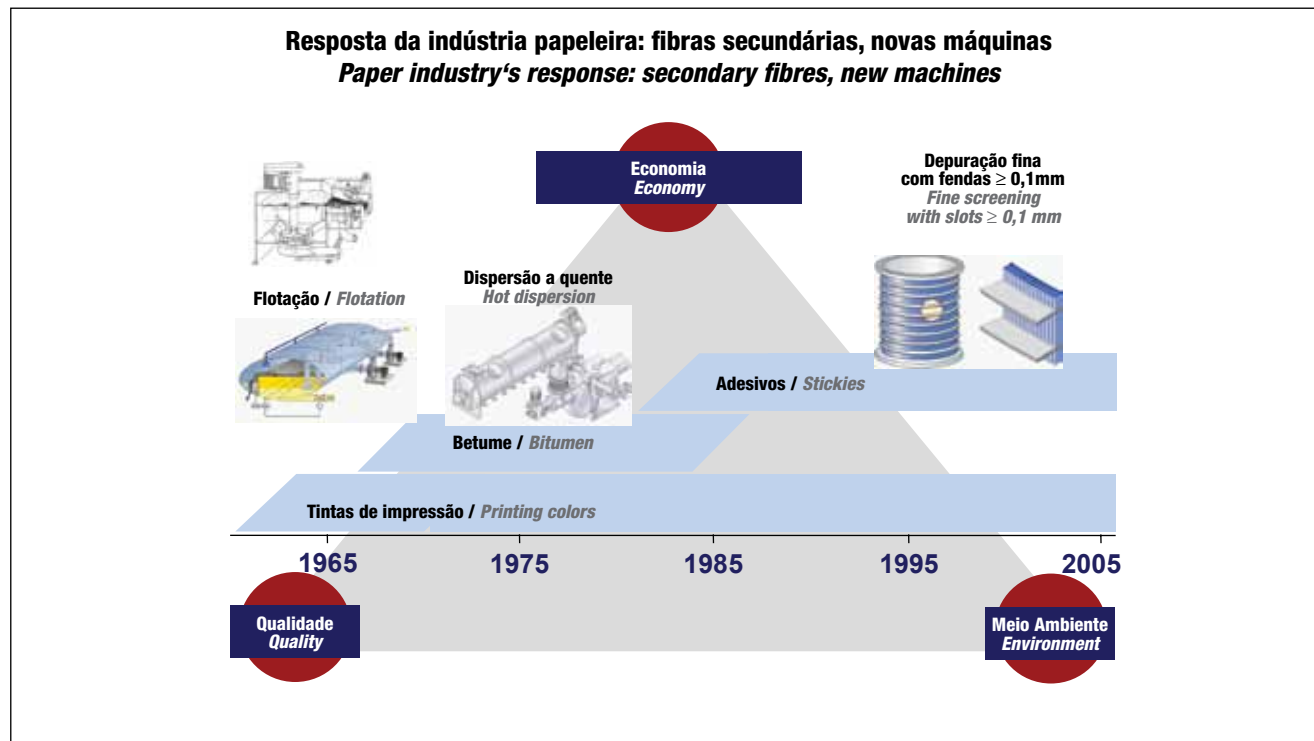
- Nos anos 80 começou a fase dos adesivos (stickies). Um progresso expressivo foi obtido mediante depuração fina, com fendas de tão somente 0,1 mm de largura. A produção dessas cestas-peneiras requer técnica de alta precisão, e as suspensões do sistema devem prevenir que esses componentes de alta tecnologia sofram dano e desgaste excessivo.

*New machines had to be developed, the processes got more specific, and one-, two- or three-loop systems were established. **Figure 9** tells a bit of the story.*

*- Printing colours had to be removed from the fibres and suspension in order to make use of the printed recovered paper for higher grades. So the deinking cell was developed. First attempts started in the second half of the 1950ies (in Austria and Germany), and 1965 the first deinking cell specially developed for the paper industry started operation in Germany. In North America wash deinking was the favoured process. In Europe, this kind of process was introduced for removing ash, fines and microstickies, a special washing machine (Variosplit) having been introduced in 1981.*

*- The next challenge in Europe, at the late 1960ies, was bitumen, when recovering the packaging boxes of fruits and vegetables from overseas. During this time a lot of patents were granted based on mechanical, thermal and chemical processes. Standard procedure became hot dispersing of the bitumen particles which had not been able to be screened out.*

*- In the 1980ies the stage of the stickies began. A main progress was reached by fine screening with slots down to a slot width of 0,1 mm. The production of these screen baskets requires a high precision technique, system solutions have to prevent these hightech parts from damage and excessive wear.*



**Figura 9.** Uso crescente de fibras secundárias e diferentes tipos de contaminantes requerem novas máquinas  
**Figure 9.** Increasing use of secondary fibres and different kinds of contaminants require new machines

É interessante observar que, em sua grande maioria, as máquinas destinadas a uma tarefa específica na área de preparação de massa oferecidas pelos fornecedores têm-se tornado cada vez mais semelhantes em termos de concepção e projeto. Somente as células de flotação apresentam uma faixa mais ampla de diversidade.

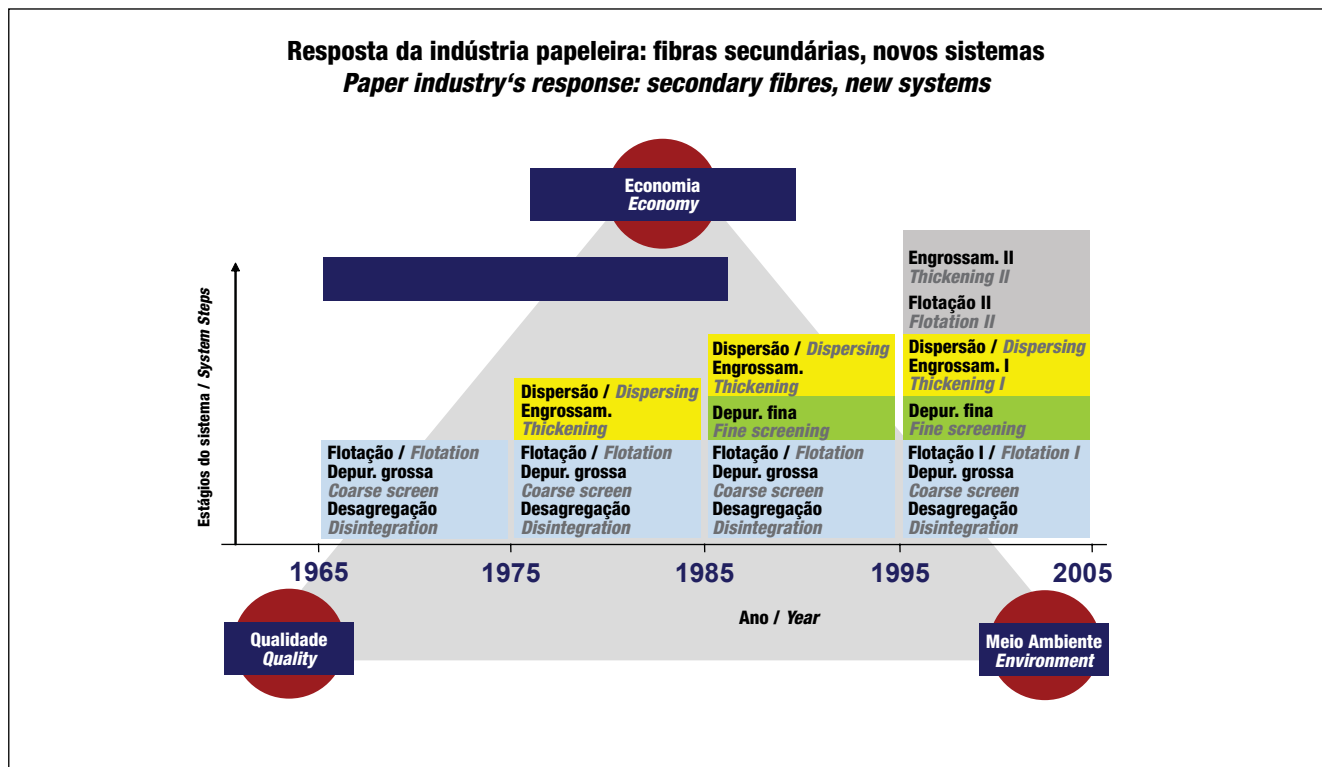
Para qualidade mais alta do produto, é frequentemente necessário que haja boa desaeração da massa. Aqui, o sistema *decuator* foi o primeiro (início dos anos 50). Ele reduz a pressão da suspensão a um nível tal que leva a suspensão ao ponto de ebulição. Atualmente estão disponíveis sistemas com desgaseificação diretamente no campo centrífugo da bomba.

A efetividade da máquina individual depende de como ela se integra no sistema. A qualidade do papel recuperado mudou, assim como as exigências devido à utilização de fibras secundárias em tipos de papel de maior qualidade. Assim, os sistemas tiveram de ser ulteriormente desenvolvidos. A **Figura 10** mostra como os sistemas eram ajustados às novas exigências (7). Nos anos 60 e 70 um sistema DIP (papel recuperado destintado) consistia de três estágios: desagregação, depuração grossa e flotação. Em meados da década de 70 tiveram de ser acrescentados estágios de engrossamento e dispersão para satisfazer as exigências de qualidade postas na massa de fibras secundárias. Por volta de 1985 a depuração fina foi introduzida como estágio intermediário, para separação dos stickies. Somente os stickies não-depuráveis deveriam ser reduzidos por dispersão a tamanho que não causasse mais perturbação no

*It is interesting to see that most of the machines for a special task in stock preparation offered to the market by the suppliers became more and more similar in conception and design. Only the flotation cells show a larger band width of diversity.*

*For higher product quality often a good deaeration of the stock is required. Here, the deculator system was the first (early 1950ies). It reduces the suspension pressure down to a level that makes the suspension boiling. Today, systems with degassing directly in the centrifugal field of the pump are available.*

*The effectiveness of the single machine depends on how it is bound into the system. The quality of the recovered paper changed as well as the requirements due to the use of secondary fibres in higher paper grades. Thus, the systems had to be further developed. **Figure 10** shows how the systems were adjusted (7). In the 1960ies and 1970ies a DIP system consisted of three steps: disintegration, coarse screening and flotation. Mid of the 1970ies thickening and dispersing had to be added to meet the quality requirements put on the secondary fibre stock. About 1985 fine screening had been introduced as a step in between to sort out the stickies. Only the not screenable stickies should be reduced by dispersion to a size which no longer disturbed in the process*



**Figura 10.** Desenvolvimento de sistemas de preparação de fibras secundárias  
**Figure 10.** The development of systems for secondary fibre preparation

processo e ao produto. Desde aproximadamente 1995 o sistema com uma segunda flotação e um segundo estágio de engrossamento tornou-se padrão para demandas de alta qualidade.

Um passo importante foi a consequente separação dos circuitos de água entre preparação de massa e máquina de papel. Mas também a área de preparação do espessamento da massa antes da dispersão ofereceu oportunidade para extração de partículas finas indesejáveis da água e do sistema. Uma vantagem adicional do engrossamento foi que o branqueamento (oxidativo e redutivo) podia ser realizado eficazmente mesmo com a alta consistência da massa em causa.

### Resposta da indústria papelreira quanto à formulação do papel

A formulação do papel é fonte promissora de redução de custos na produção de papel (Figura 11).

- Em papéis gráficos, fibras virgens são substituídas por fibras secundárias (papel recuperado destintado) em muitos tipos de papel. Desde o final da década de 90 o papel-jornal standard é feito de 100% papel recuperado destintado, e também a classe de SC B (supercalandrado, classe B) e mesmo o LWC usam quantidade crescente de fibras recicladas.

- E mais, cargas de baixo custo substituem fibras mais dispendiosas no papel-jornal. Nas últimas décadas o teor de carga no papel-jornal aumentou de 3%-5% para 20% e até mesmo mais.

- Ainda, a gramatura do papel-jornal foi reduzida de 50 g/m<sup>2</sup> ou mais para 40 a 45 g/m<sup>2</sup>, e até menos. Não somente o

and in the product. Since about 1995 a system with a second flotation and a second thickening stage became standard for high quality requirements.

An important step was the consequent separation of the water circuits between stock preparation and paper machine. But also within the stock preparation thickening ahead of dispersing gave the opportunity to extract undesired fine particles from the water and the system. A further advantage of thickening was that bleaching (oxidative and reductive) could be done effectively at the given high stock consistency.

### Paper industry's response regarding paper design

Paper design is a promising source for cost reduction in paper production (Figure 11).

- In graphic papers, virgin fibres are replaced by secondary fibres (DIP) in many grades. Since the end of the 1990ies standard newsprint is made of 100% DIP, and also SC B (supercalendered), and even LWC grades use an increasing amount of recycled fibres.

- Furthermore, the cheap fillers replace more expensive fibres in newsprint. In the last decades the filler content of newsprint increased from 3%-5% to 20%, and even more.

- Additionally, the basis weight of newsprint had been reduced from 50 g/m<sup>2</sup> and more down to 40 to

### Resposta da indústria papelreira: Tecnologia papelreira, formulação do papel Paper industry's response: Paper technology, paper design

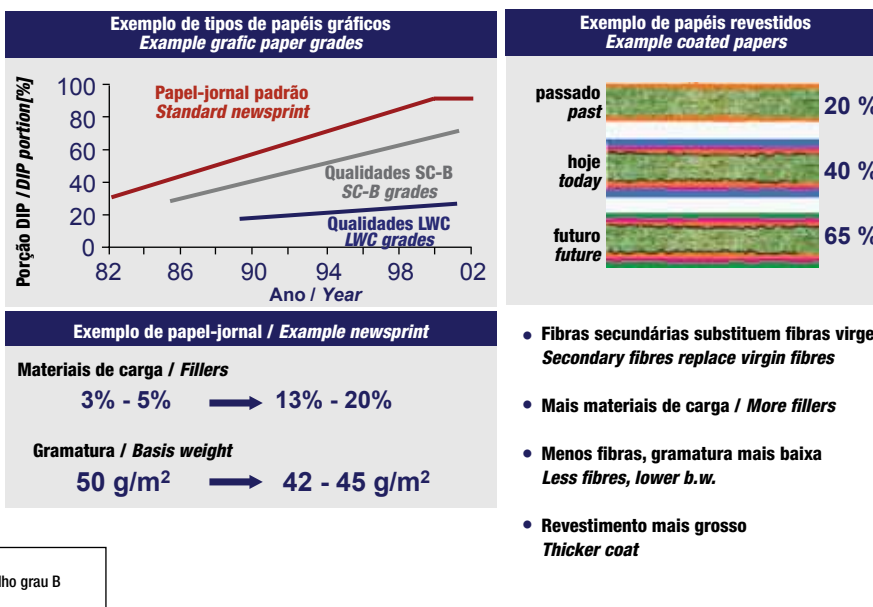


Figura 11. Redução de custos na produção de papel em função da formulação do papel (mais fibras recicladas, mais cargas, revestimento mais espesso) / Figure 11. Cost reduction in paper production through paper design (more recycled fibres, more fillers, thicker coat)

papel-jornal, mas também papelão ondulado e tipos de tissue tiveram uma nítida redução em suas gramaturas.

- A uniformidade nos sentidos longitudinal e transversal do papel também poupa uma grande quantidade de fibras. A área da folha com a menor gramatura, por exemplo, tem de cumprir com as exigências de qualidade, todas as outras superfícies da folha com gramatura mais alta significando um consumo desnecessário de fibras.

- Em classes de papéis revestidos, a relação entre tinta de revestimento e fibras foi aumentada de cerca de 20% para aprox. 40% atualmente, e no futuro é possível que se atinja uma relação de até 65%.

Com a resistência da folha úmida diminuindo em função de todos esses procedimentos economizadores de fibras, o percurso do papel na máquina precisa ser otimizado, para que não haja perda de eficiência da máquina devido a quebras mais frequentes da folha.

### A resposta da indústria papelreira quanto ao meio ambiente

O consumo de água e energia tem forte impacto sobre o meio ambiente. A **Figura 12** dá um exemplo de como o consumo específico de água fresca, assim como o de energia, tem sido reduzido na indústria papelreira alemã. O consumo de água fresca diminuiu de cerca de 50 m<sup>3</sup>/t, na década de 70, para aprox. 10 m<sup>3</sup>/t. Isto também constitui certo padrão para classes de papéis gráficos, em relação aos quais busca-se consumo de até mesmo 5 m<sup>3</sup>/t. Para atingir este objetivo desafiador a água branca requer pro-

45 g/m<sup>2</sup> and even less. Not only newsprint, but also corrugated board and tissue grades have distinctly reduced their basis weights.

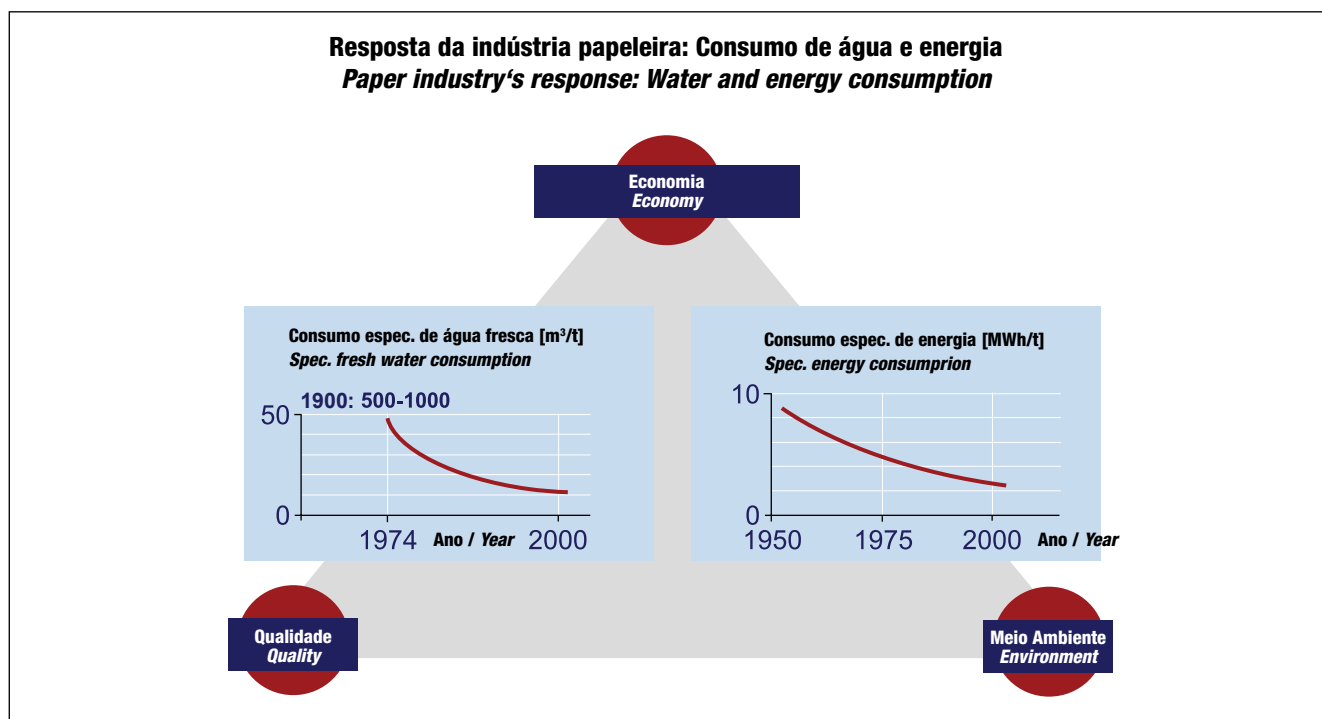
- The uniformity in MD and CD of the product also saves a lot of fibres. The spot in the paper web with the lowest basis weight, for instance, has to comply with the quality requirements, all other parts of the paper web with higher basis weight mean a unnecessary input of fibres.

- In coated paper grades, the ratio of coat to fibres has been increased from about 20% to ca. 40% at present, and in future we may see up to 65%.

As the strength of the wet paper web is lowered by all these fibre saving actions, the web run in the paper machine has to be optimized in order not to loose machine efficiency by more frequent sheet breaks.

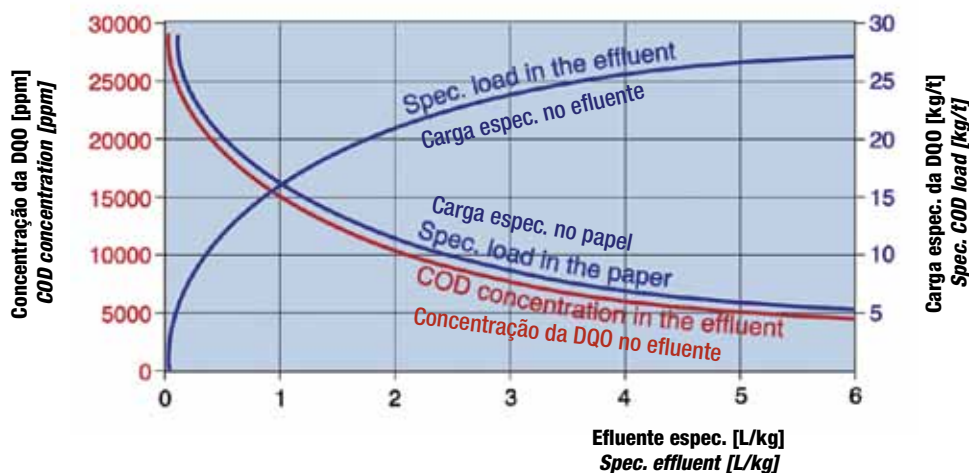
### Paper industry's response as regards environment

Water and energy consumption have a strong impact on environment. **Figure 12** gives an example how the specific fresh water consumption, as well as the specific energy consumption, has been reduced within the German paper industry. Fresh water consumption decreased from about 50 m<sup>3</sup>/t in the 1970ies down to about 10 m<sup>3</sup>/t. This is also a certain standard for graphic paper grades, where even 5 m<sup>3</sup>/t are aimed for. For reaching this challenging goal, high sophisticated



**Figura 12.** Redução do consumo específico de água fresca e de energia na indústria papelreira alemã  
**Figure 12.** Reduction in specific consumption of fresh water and energy in the German paper industry

### Fechamento de circuitos e valores de DQO Loop closure and COD values



**Figura 13.** Efeito do fechamento de circuito na carga de DQO no efluente e no papel  
*Figure 13.* The effect of loop closure on COD load in the effluent and in the paper

cessos de clarificação altamente sofisticados. A **Figura 13** mostra como a concentração de DQO (ppm) e a carga específica de DQO no papel (kg/t de papel) aumenta dramaticamente com efluente específico reduzido (L/kg de papel), ao passo que a carga específica no efluente (kg/t de papel) se reduz.

O consumo específico de energia foi reduzido de cerca de 9 kWh/t, em 1950, para aprox. 2,5 kWh/t, nos dias atuais.

Quanto mais papel recuperado (208 milhões de t em 2007) for utilizado para a produção de papel novo, tanto maior será a quantidade de resíduos a descartar. Assim sendo, esses rejeitos e lodos têm de ser condicionados para:

- aterro em instalações internas ou externas, o que pode apresentar restrição por efeitos de lei, economia, disponibilidade ou capacidade e/ou
- uso como material de construção, que necessita de instalações externas, as restrições podendo ser a disponibilidade local e a capacidade e/ou
- geração de energia em instalações internas ou externas, sendo que a incineração interna vai na direção da produção integrada de papel, inclusive para energia.

O gerenciamento de resíduos é um desafio, como mostra o exemplo de uma das maiores plantas de destintamento do mundo, com entrada de 2000 t/d de papel recuperado. Aprox. 1500 t/d de fibras secundárias são enviadas à máquina de papel-jornal, as 500 t/d de resíduos são reduzidas mediante recuperação de metais em cerca de 100 t/d, de modo que aprox. 400 t/d de lodo têm de ser processadas para uso na planta de incineração, para fins de geração de energia.

*clarifying processes for the white water are necessary.*

**Figure 13** shows how the COD concentration (ppm) and the specific COD load in the paper (kg/t of paper) increases dramatically with reduced specific effluent (L/kg of paper), whereas the specific load in the effluent (kg/t of paper) decreases.

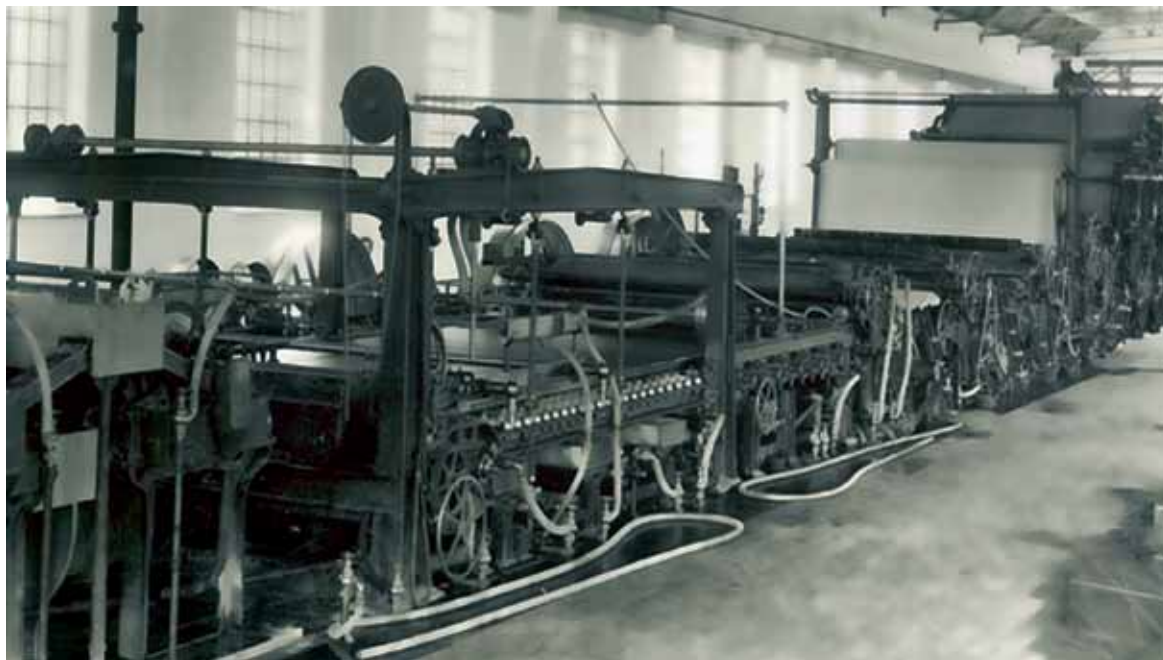
*The specific energy consumption has been reduced from about 9 kWh/t, in 1950, down to about 2,5 kWh/t at present.*

*The more recovered paper (208 million t in 2007) is used for paper production the more residues have to be disposed. So these rejects and sludges have to be prepared for:*

- *landfill in internal or external facilities, which may be restricted by law, economy, availability or capacity and/or*
- *use as construction material which needs external facilities, restrictions may be local availability and capacity and/or*
- *energy generation in internal or external facilities, whereby internal incineration goes into the direction of an integrated paper production also for energy.*

*Waste management is a challenge, as shows the example of one of the biggest deinking plants worldwide, with an input of 2000 t/d of recovered paper. About 1500 t/d of secondary fibres are supplied to the newsprint machine, the 500 t/d of residues are reduced by metal recovery by ca. 100 t/d. So about 400 t/d of sludge have to be processed to be used in the incineration plant for energy generation.*

**Progresso em termos de projeto e operação da máquina de papel**  
**Progress in paper machine design and operation**



**Conceitos especiais de MP**  
*Special PM concepts*

**Mais velozes / Faster**

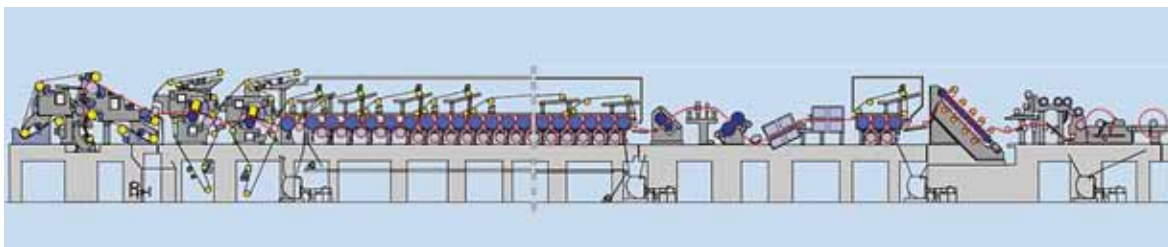
**Integração de revestimento, calandragem**  
**inclusive em MP velozes**

**Produção de “uma qualidade”**  
*“One-grade” production*

**Mais largas / Wider**

**Integration of coating, calendering**  
**also in fast PM**

**Melhores / Better**



**Figura 14.** A resposta da indústria papelreira em termos de projeto e operação, máquinas de papel com o desenho mais moderno – cada uma em sua época (1905 e atualmente) / **Figure 14.** The paper industry’s response in design and operation, paper machines of most modern design – each at its time (1905 and today)

**A resposta da indústria papelreira quanto a projeto e operação da máquina de papel**

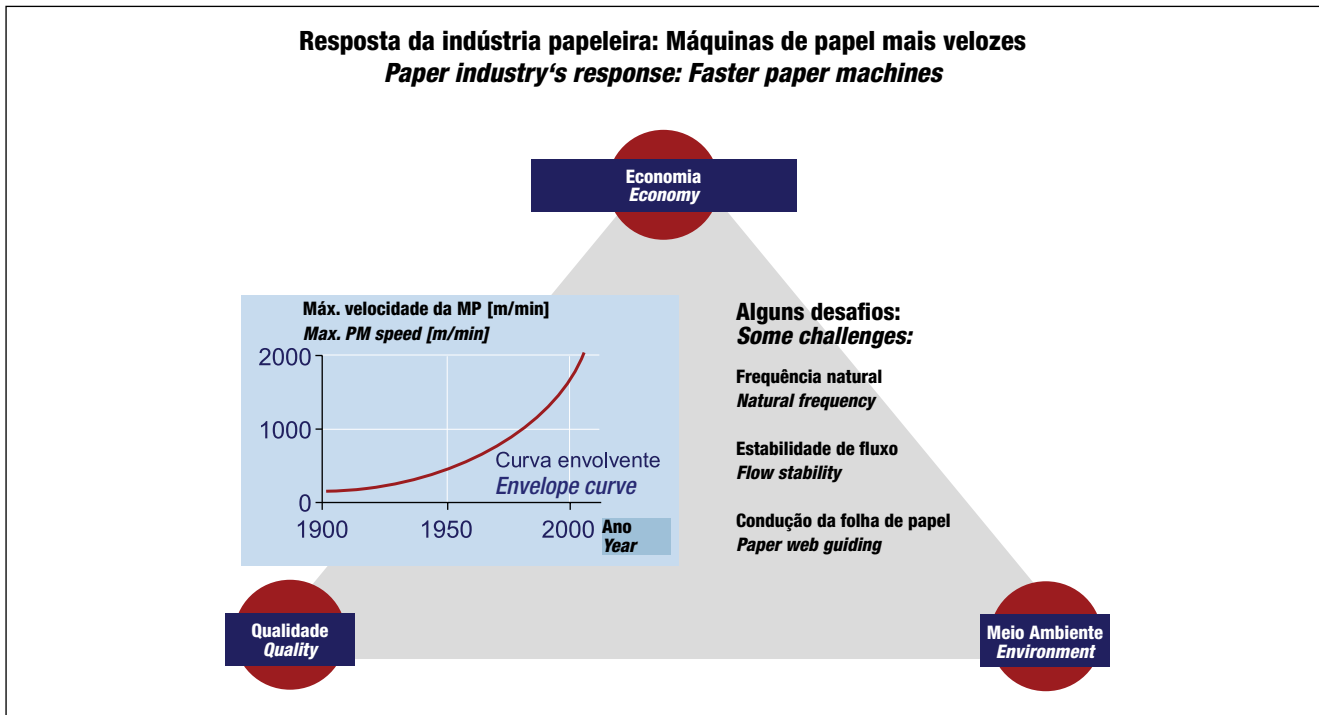
A fim de acompanhar os objetivos da economia - tais como economia nos custos de matérias-primas, aumento da produção específica por capital investido e pessoa empregada -, ocorreram mudanças radicais na produção de papel (7). A **Figura 14** demonstra o progresso alcançado em máquinas de fabricação de papel entre 1905 e os dias atuais, mostrando os desenhos mais modernos, cada um em sua própria época. A velocidade-

**Paper industry’s response in paper machine design and operation**

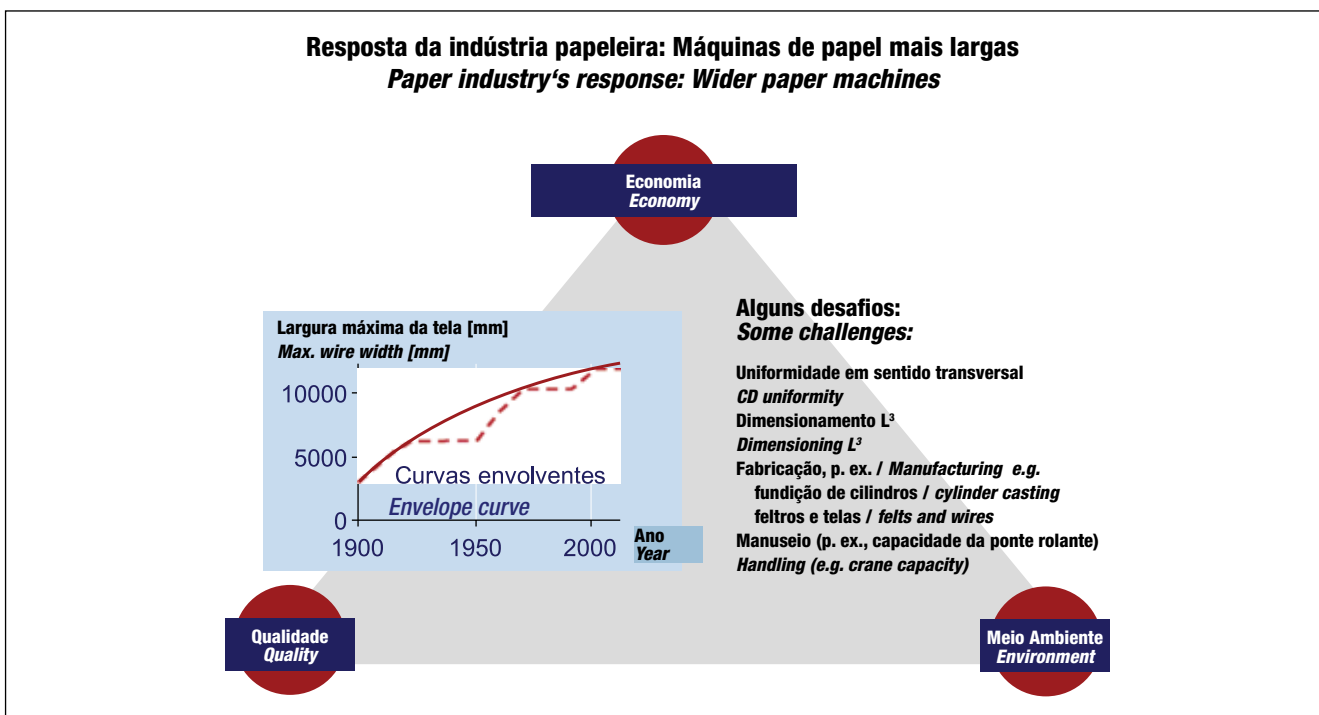
In order to follow the economy goals - such as savings in raw material costs, increasing specific production per invested capital and employed person -, essential changes took place in paper production (7). **Figure 14** demonstrates the progress in paper machinery between 1905 and today, showing most modern designs, each at its own epoch. The machine

de da máquina passou por enorme crescimento nos últimos 100 anos (**Figura 15**). O aumento na largura da máquina durante os últimos 100 anos está indicado na **Figura 16**. Os desafios da construção e operação de máquinas mais velozes e mais largas, e as soluções, serão descritos em trabalho subsequente.

*speed was tremendously increased in the last 100 years (**Figure 15**). The increase of machine width during the last 100 years is indicated in **Figure 16**. The challenges of building and running faster and wider machines, and the solutions, will be described in a consecutive paper.*



**Figura 15.** Aumento da velocidade máxima de operação de máquinas de papel durante os últimos 100 anos (curva envolvente)  
**Figure 15.** Increase in maximum operating speed of paper machines during the last 100 years (envelope curve)



**Figura 16.** Aumento da largura máxima de máquinas de papel durante os últimos 100 anos (curvas envolventes)  
**Figure 16.** Increase in maximum width of paper machines during the last 100 years (envelope curves)

## DESVIOS, CAMINHOS ENGANOSOS E IDÉIAS CURIOSAS

Alguns dos desenvolvimentos aqui relatados constituíram passos bem-sucedidos em direção ao estado-da-arte da técnica. Alguns outros foram desvios ou levaram a impasse, e alguns podem, hoje em dia, fazer sorrir.

### Colagem ácida

A colagem ácida (Illig, 1807) foi uma inovação pioneira naquela época, pois o agente de colagem era facilmente disponível a baixo custo. Ela foi utilizada na indústria papelreira por quase dois séculos. Não foi senão na década de 30 que as consequências foram percebidas: papel produzido com alume destrói gradualmente a si próprio, devido ao íon sulfato. O papel fica frágil e quebra. A primeira colagem neutra foi feita em 1936, mas grande número de pesquisas e desenvolvimentos adicionais foi necessário para introduzir a colagem neutra na indústria (a partir dos anos 70). A **Figura 17** apresenta resultados de testes realizados com um papel recém-produzido, com comportamento elástico-plástico, e um papel envelhecido, com colagem ácida, que quebrou como um material frágil (acima, à esquerda). A foto embaixo, à esquerda, demonstra como o suporte e portador da civilização e da cultura é mais e mais destruído. A foto embaixo, à direita, apresenta um aparelho de desacidificação de livros (60 t/ano). As atividades para desacidificação tiveram início na década de 60, mas a tarefa e o volume remanescente de livros são

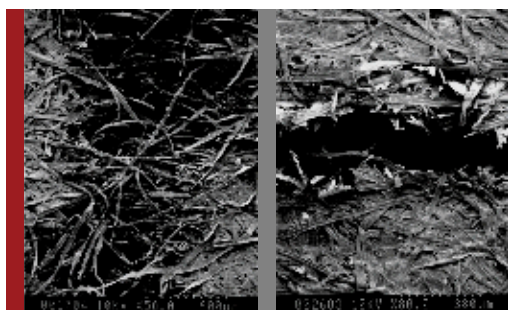
## DETOURS, MISLEADING PATHS AND FUNNY IDEAS

*Some of the reported developments were successful steps to the state-of-the-art technique. Some others were detours or lead to an impasse, and some may make us smile today.*

### Acid sizing

*Acid sizing (Illig, 1807) was a groundbreaking innovation at that time, as the sizing agent was easily available at low cost. It has been used in the paper industry for almost two centuries. It was not before the 1930ties that the consequences were recognized: paper produced with alum gradually destroys itself due to the sulphate ion. The paper gets brittle and breaks. First neutral sizing was done in 1936. But it needed a lot of further research and development to introduce neutral sizing in the industry (since the 1970ties). **Figure 17** shows test results with a freshly produced paper with elastic-plastic behaviour and an aged acid-sized paper which broke like a brittle material (top left). The photo bottom left demonstrates how bearer and carrier of civilization and culture is more and more destroyed. The photo bottom right shows an apparatus for de-acidification of books (60 t/year). The activities for de-acidification started in the 1960ties, but the task and the remaining volume of books are overwhelming.*

### Desvios, caminhos enganosos: Colagem ácida Detours, misleading paths: Acid sizing



**Envelhecimento do papel => Fragilidade  
Aging of paper => Brittleness**

**Aparelho de desacidificação  
De-acidification apparatus**



**Envelhecimento / Aging  
Destroi bens culturais / Destroys cultural goods**



**Figura 17.** Envelhecimento do papel devido à colagem ácida e um aparelho de desacidificação  
**Figure 17.** Aging of paper because of acid sizing and a de-acidification apparatus

### Corrosão por íons de ferro da tinta / Corrosion by ink iron ions



**Figura 18.** Tinta com excesso de íons ferro destrói o papel por corrosão / **Figure 18.** Ink with a surplus of iron ions destroys paper by corrosion

impressionantes. A **Figura 18** ilustra outra ameaça: notas (como G e C neste exemplo) numa folha de música podem estar faltando, caso o compositor as tenha escrito com tinta contendo excesso de íons ferro.

#### Produção de papel e recursos em termos de fibras

Algumas idéias excepcionais são aqui relacionadas, e que, em parte, ainda são aplicadas em certos casos:

- Produção de papel sem água (anos 60 e 70)
- Papel a partir de fibras sintéticas (anos 70)
- Papel como folha metálica (anos 70)
- Papel recuperado do lixo (anos 70 e novamente nos anos 80), em que todo o lixo doméstico era misturado e posteriormente separado em frações, uma delas o assim chamado papel recuperado – com uma qualidade inaceitável.

#### Produtos incomuns e excepcionais

Aqui – algumas com uma ponta de sorriso –, quatro idéias ou produtos encontrados na literatura:

- Lêvedo de panificação a partir de licor residual (anos 40).
- Papel de arroz comestível (GB, EUA, anos 40), em que eram escritas informações críticas para pilotos militares. Caso forçados a aterrissar em território inimigo, o piloto poderia comer a folha com as informações.
- Papel recuperado como forragem para gado (anos 70).
- Jornais impressos em papel de impressão fino (Papua-Nova Guiné, 1969) poderiam ser usados como papel para cigarros. Enquanto estivessem preparando seus cigarros, analfabetos poderiam sentir-se atraídos a aprender a ler e a escrever.

**Figure 18** illustrates another threat: notes (like G and C in this example) in a sheet of music may be missing when the composer has written them with an ink containing a surplus of iron ions.

#### Paper production and fibre resources

Some special ideas are listed here, which partly still are applied in niches:

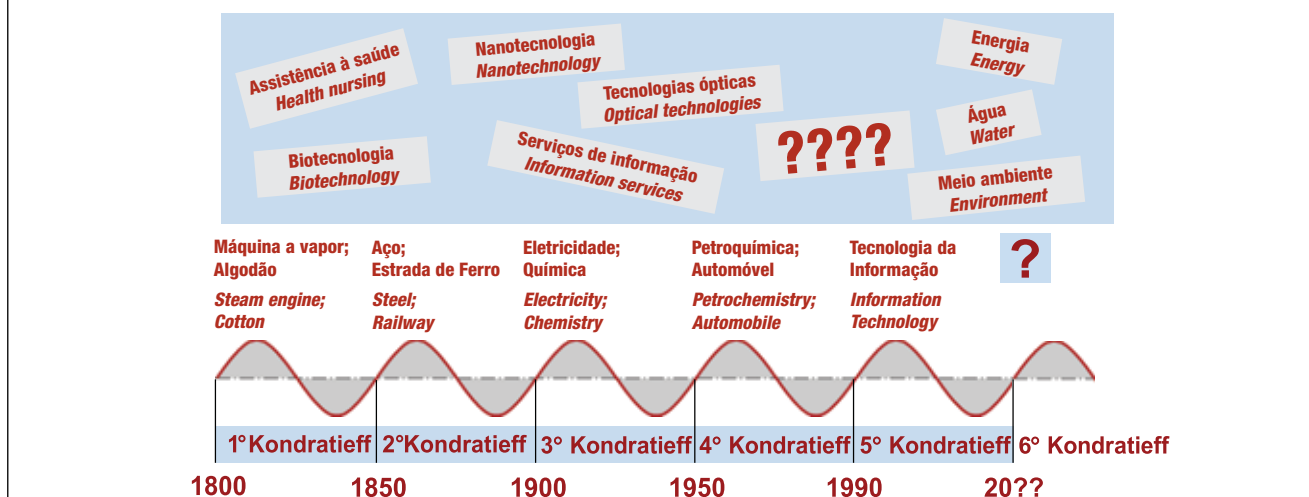
- Waterless paper production (1960ties and 1970ties)
- Paper from synthetic fibres (1970ties)
- Foil paper (1970ties)
- Recovered paper from garbage (1970ties and again 1980ties), where all household garbage was mixed and afterwards separated into fractions, one of them being so-called recovered paper - with an unaccepted quality.

#### Unusual and exceptional products

Here – some with a bit of smile –, four ideas or products found in the literature are given:

- Baker yeast from waste liquor (1940ties).
- Eatable rice paper (GB, USA, 1940ties), where critical information was written on for military pilots. When forced to land in enemy's territory the pilot could eat the information sheet.
- Recovered paper as cattle feed (1970ties).
- Newspapers printed on thin printing paper (Papua New Guinea, 1969) could be used as cigarette paper. During preparing their cigarettes, illiterates should be attracted to learn to read and to write.

## E quanto ao 6º ciclo de Kondratieff? / What about the 6th Kondratieff cycle?



**Figura 19.** Qual(ais) será(ão) a(s) inovação(ões) básica(s) no 6º ciclo Kondratieff?

**Figure 19.** What will be the basic innovation(s) in the 6th Kondratieff cycle?

### E O FUTURO?

O levantamento de mais de 100 anos mostra um extraordinário progresso na fabricação de papel. Foi uma seleção pessoal. Agora será feita breve perspectiva quanto ao futuro, também com base em visão pessoal. Retomando os ciclos de Kondratieff, a questão é: em qual década terminará o 5º ciclo? Haverá um 6º e esse se mostrará com a mesma clareza dos anteriores? O conhecimento básico e as inovações básicas para isso são desenvolvidos na atualidade como uma opção (Figura 19), mas ninguém consegue definir qual delas – ou outra adicional –, será então o líder.

Como Kondratieff afirma, inovações técnicas básicas estão na origem de tremendas mudanças na economia, na técnica e na sociedade. Isto se verificará também no futuro? Ou haverá uma situação inversa, ou seja, uma situação em que mudanças dramáticas na sociedade causarão uma série de inovações em sentido técnico, econômico e social? Uma dessas mudanças dramáticas na sociedade surgirá nos países industrializados decorrente dos custos de aposentadorias da população dentro dos próximos 30 a 45 anos. Aonde isto levará? ▲

### AND THE FUTURE?

The survey of more than 100 years shows a lot of progress in paper making. It was a personal selection. Now, a short outlook to the future will be made as a personal view as well. Coming back to the Kondratieff cycles, the question is: in which decade the 5th cycle will end. Will there be a 6th one and will this one show up in similar clearness as the others did? The basic knowledge and the basic innovations for it are developed today as an option (Figure 19), but nobody can recognize which of them - or a further one -, will be then the leader.

As Kondratieff states, basic technical innovations are the origin for tremendous changes in economy, technique and society. Will this hold true also in the future? Or will there be a reverse situation, namely, that dramatic changes in the society will cause a bundle of innovations in technical, economic and social respect? One of these dramatic changes in society will come up in the industrialized countries with the superannuation of the population within the next 30 to 45 years. Where will it lead to? ▲

### REFERÊNCIAS / REFERENCES

1. L. A. Nefiodow: *Der sechste Kondratieff*, Rhein-Sieg Verlag 1997, ISBN 3-9805144-1-2
2. H. Holik: *Wandel und Bestand in Industrie und Papiertechnik in den letzten 100 Jahren*, Wochenblatt für Papierfabrikation 3-4, 2006
3. M. Haikola, V. Kajander: *Enhancing the energy efficiency of paper machine drives*, ipw 10 2009, pp. 20
4. W. J. Auhorn: *Chemische Additive für die Papierherstellung – kleine Mengen mit großer Wirkung garantieren den Fortschritt*, Wochenblatt für Papierfabrikation 23/24, 1999, S.1558
5. P. Nykänen, H. Paulapuro: *Around the roll*, 2005, ISBN 951-666-628-0, ISSN 1456-7415
6. www.git-forestry.com
7. H. Selder: *Neue Wege in der Stoffaufbereitung für LWC-Papiere aus Sekundärfasern*, ipw Sonderausgabe April 2004
8. H. Holik (Ed.): *Handbook of Paper and Board* Wiley-VCH Verlag, 2006, ISBN 3-527-30997-7