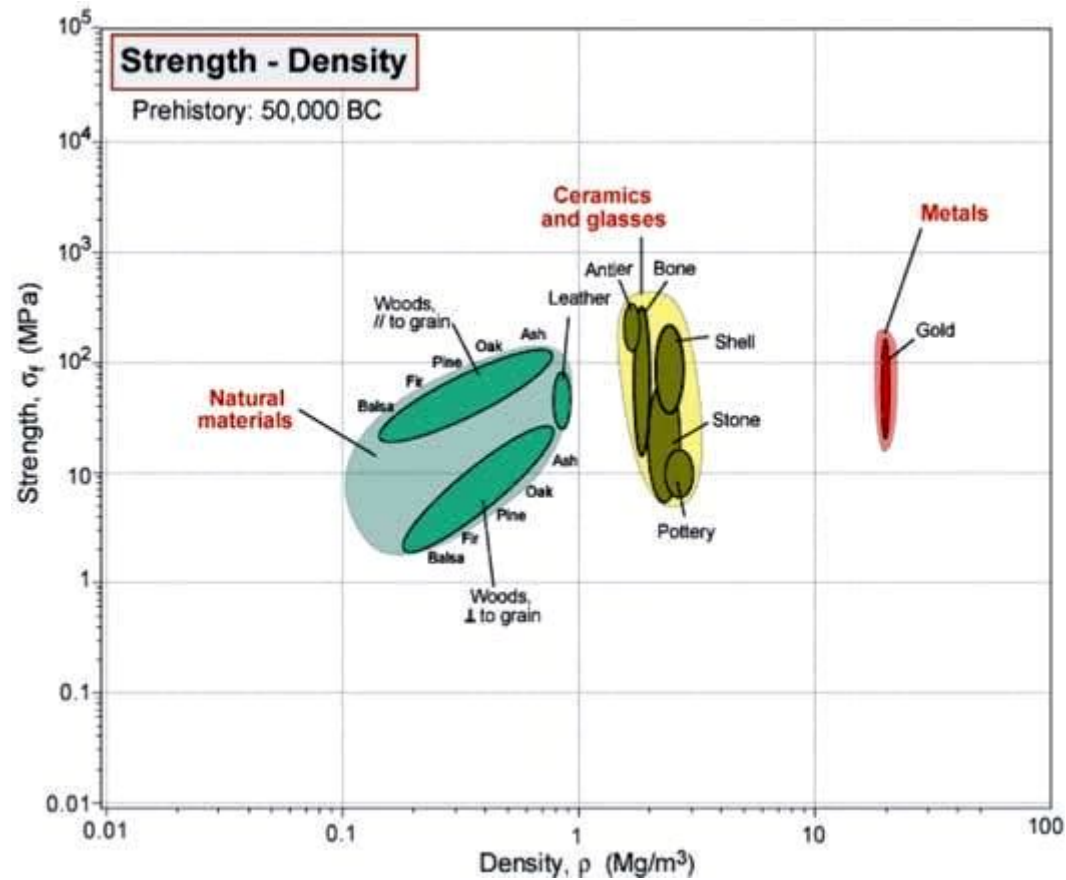
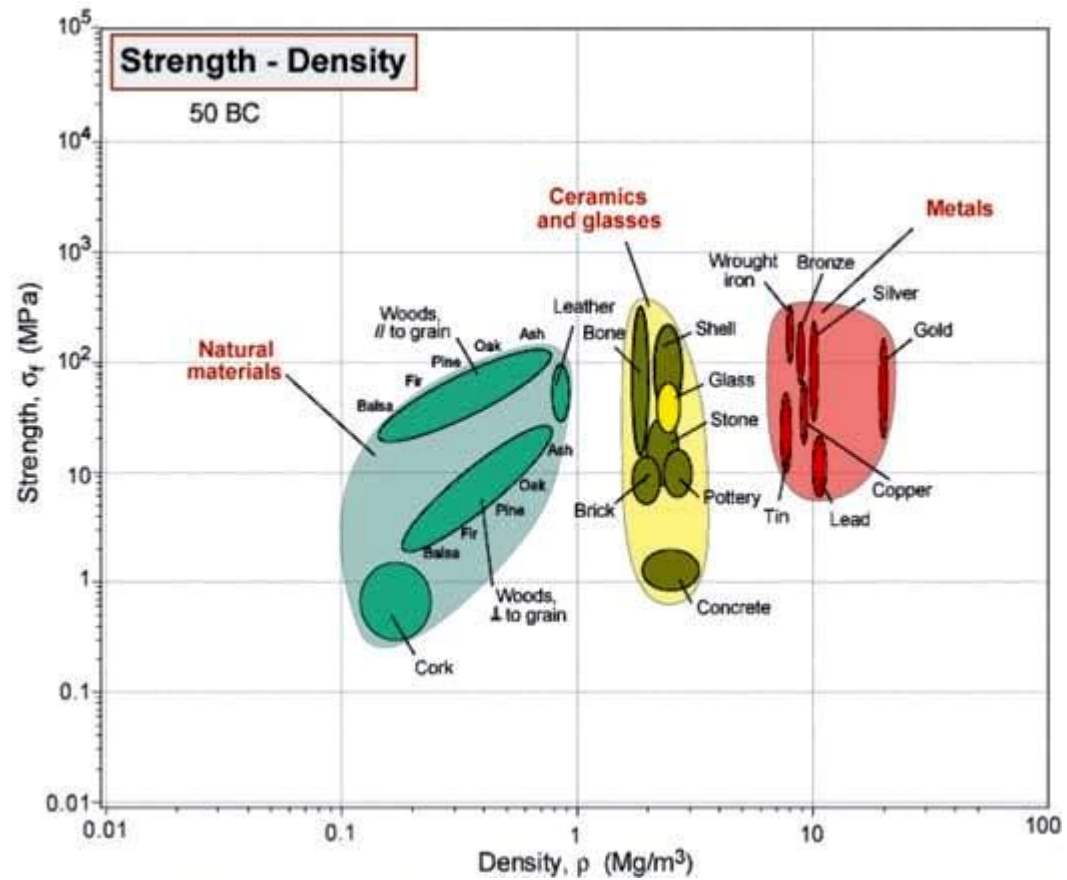


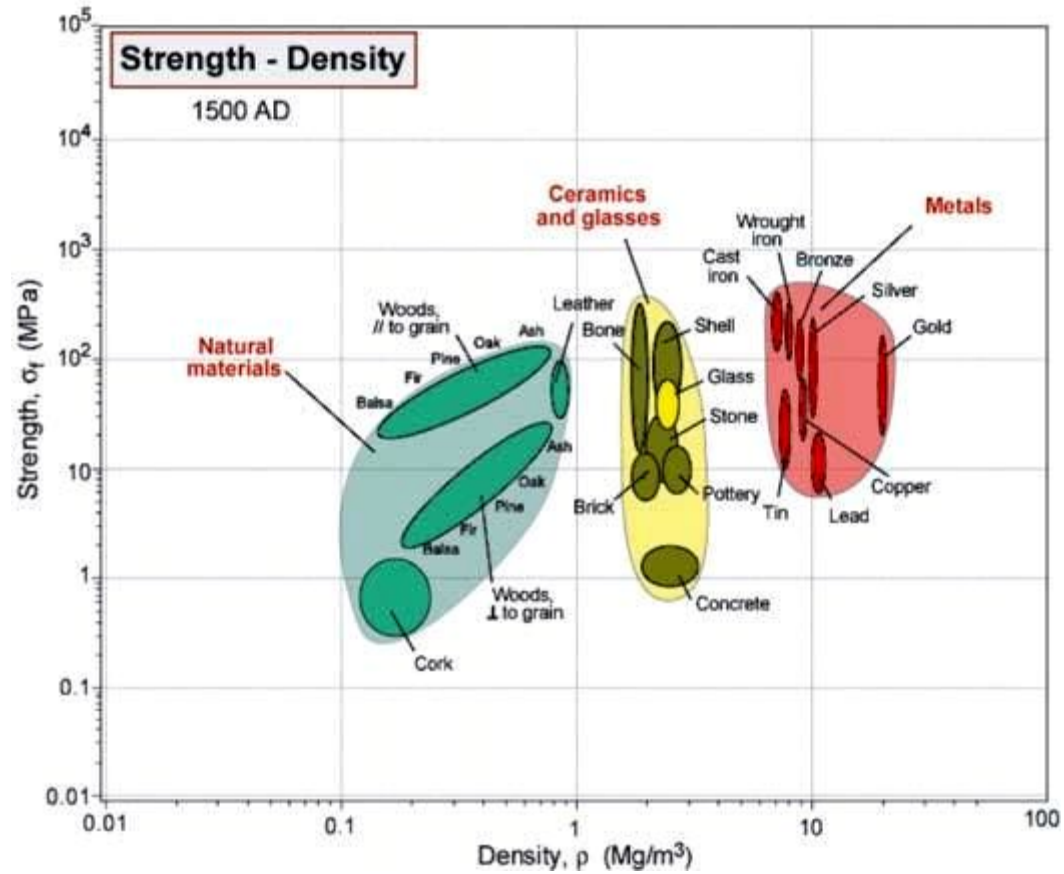
Evolução cronológica dos materiais



Evolução cronológica dos materiais



Evolução cronológica dos materiais



Cimento - histórico



DEMAR-EEL-USP
Introdução à Engenharia de Materiais
Prof. Hugo Sandim

Cimento hidráulico - histórico

Tecnicamente, podemos definir cimento como um **pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água**. A arquitetura monumental do Egito Antigo já usava uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado que, de certa forma, é a origem do cimento. As grandes obras gregas ou romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de certas terras de origem vulcânicas (pozolana), com propriedades de endurecimento sob a ação da água (cerca de 2000-2500 anos atrás). Foi um material utilizado durante todo o primeiro milênio da era cristã em construções ainda existentes.

O passo seguinte aconteceu em 1758, quando o inglês Smeaton consegue um produto de alta resistência, por meio da calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1918, o francês Vicat obtém resultados semelhantes aos de Smeaton pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial.

Seis anos depois, outro inglês, Joseph Aspdin patenteia o "Cimento Portland", que recebe este nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às das rochas da ilha britânica de Portland. Hoje, o cimento Portland é um material rigorosamente definido, e sua fabricação segue princípios bem estabelecidos. A grande versatilidade de emprego e notáveis qualidade de adaptação a novos produtos e métodos construtivos aumentam, a cada dia, sua ampla gama de aplicações.

Cimento Portland e Concreto

Composição: Essencialmente composto de silicatos de cálcio (3CaO.SiO_2 , 2CaO.SiO_2), aluminatos ($3\text{CaO.Al}_2\text{O}_3$) e ferroaluminatos de cálcio ($4\text{CaO.Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$) e pequenas quantidades de óxido de cálcio, óxido de magnésio, sulfatos de sódio, potássio e cálcio e ainda traços de outros elementos (modificadores).

As matérias-primas do cimento são calcário, argila, gesso e outros materiais denominados adições. A sua fabricação exige grandes e complexas instalações industriais, como um possante forno giratório (*kiln*) que chega a atingir temperaturas próximas a 1500°C (grande consumidor de energia – óleo combustível).

Concreto:

O concreto é uma mistura, em determinadas proporções, de quatro componentes básicos: **cimento, pedra, areia e água.**

Tipos de concreto: **simples, armado e magro.**

O concreto simples é preparado com os 4 componentes básicos e tem grande resistência aos esforços de compressão, mas baixa resistência aos esforços de tração.

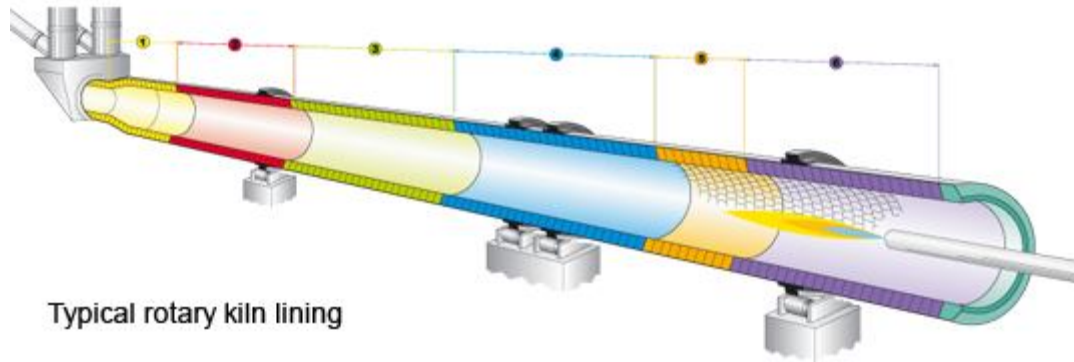
Já o concreto armado tem elevada resistência tanto aos esforços de tração como aos de compressão, mas para isso precisa de um quinto componente: armadura ou ferro.

O concreto magro é na verdade um concreto simples com menos cimento. Ele é mais econômico mas só pode ser usado em partes da construção que não exijam tanta resistência e impermeabilidade.

Cimento Portland



- 1 Inlet zone
- 2 Safety zone
- 3 Upper transition zone
- 4 Sintering zone
- 5 Lower transition zone
- 6 Outlet zone



Typical rotary kiln lining



Concreto



Definição de “fase”

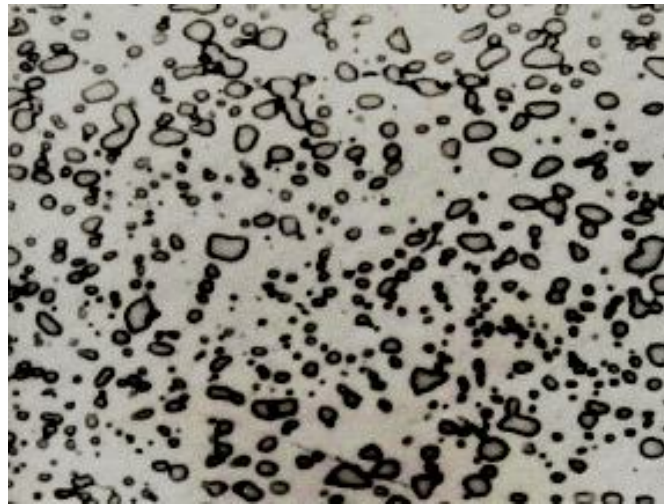
- “Porção homogênea de um sistema que possui características físicas e químicas uniformes” (**Callister**)

- “Uma fase tem as seguintes características:

- a) Uma fase tem a mesma estrutura cristalina ou organização atômica em toda sua extensão;

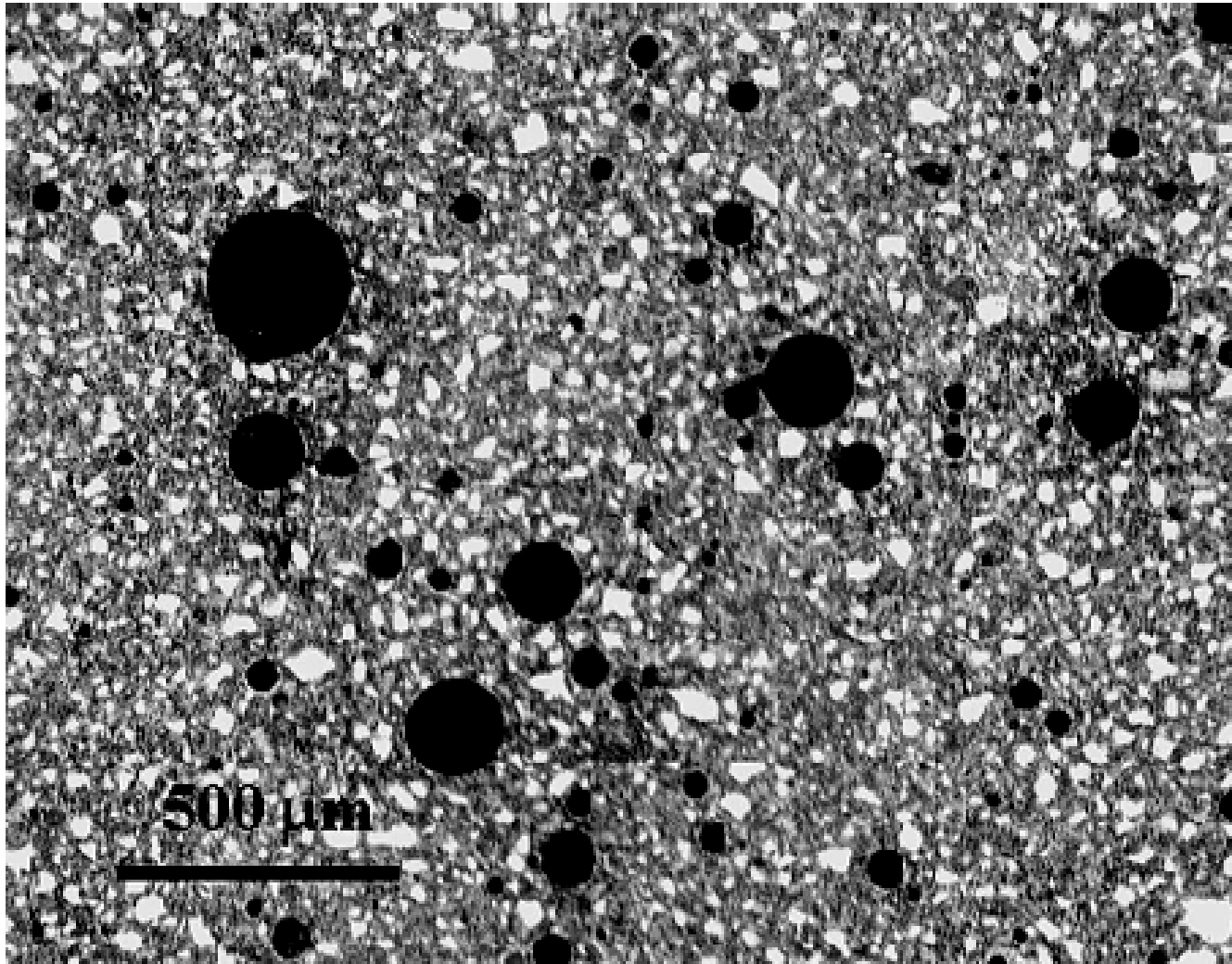
- b) Possui mesma composição e mesmas propriedades;

- c) Há uma interface definida entre a fase e suas fases vizinhas” (**Askeland**)

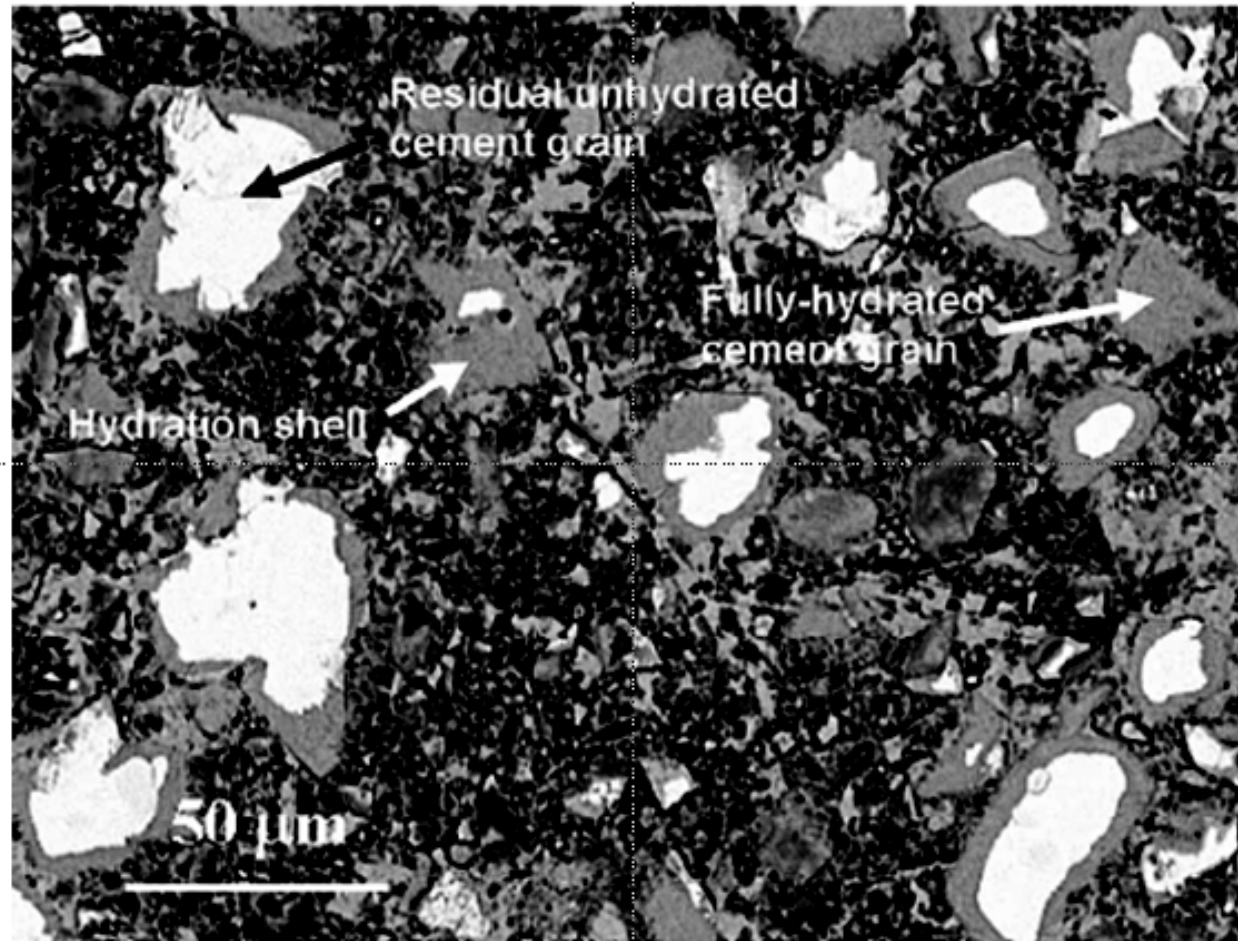


Partículas de cementita (Fe_3C) esferoidizada na ferrita ($\text{Fe-}\alpha$)

Porosidade numa pasta de cimento



Reação de hidratação do cimento (cura)



A cura do concreto (hidratação)

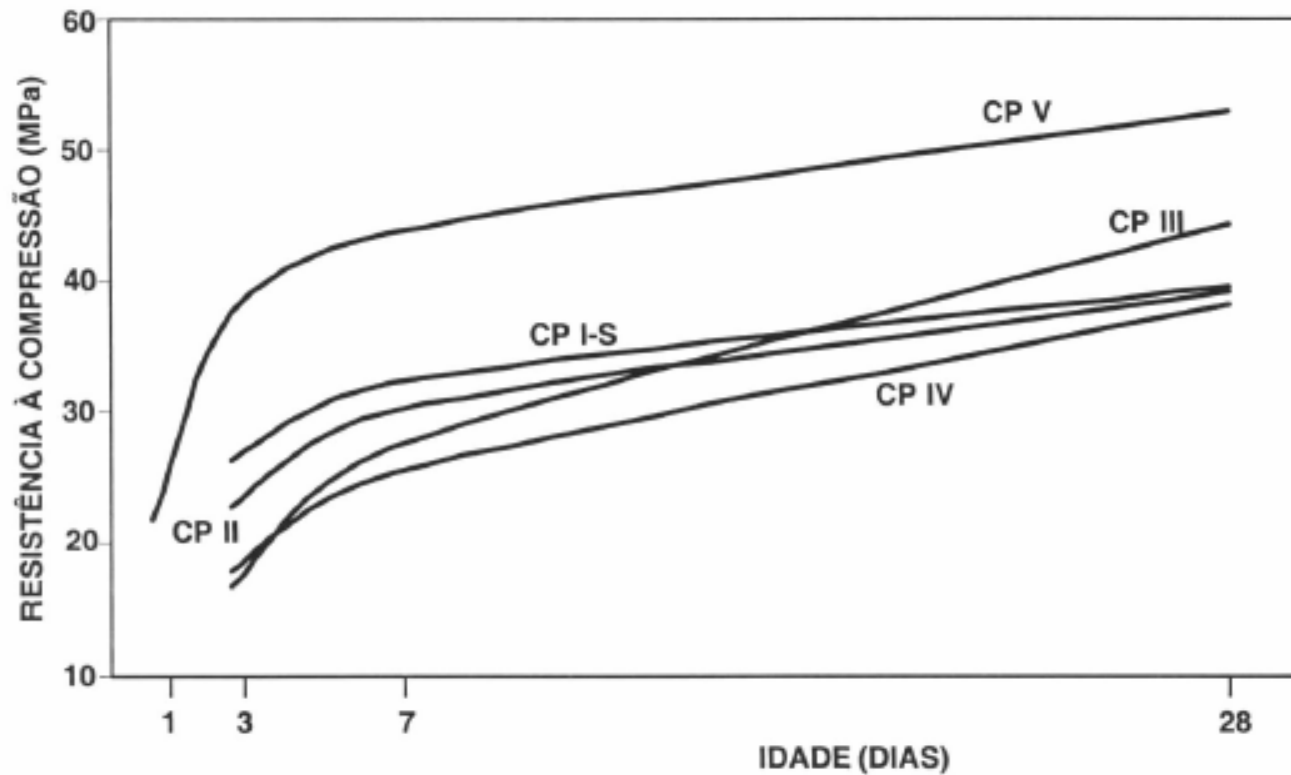


FIGURA 1 - Evolução média de resistência à compressão dos distintos tipos de cimento portland (fonte: ABCP, 1996)

Os materiais medievais – Cenário Geral

A maior parte dos materiais hoje conhecidos ainda eram fabricados fora da Europa no primeiro milênio da era cristã (tecidos, artigos em bronze e prata, ferro e papel-China).

Apesar dos materiais não terem sofrido modificações importantes na Europa Ocidental durante a Idade Média, as invenções que demandavam estes materiais provocaram grandes alterações sociais. Exemplos: moinho de vento ao invés do hidráulico, uso da força hidráulica nas forjarias, introdução da laminação e trefilação de arames (século XV).

A produção do vidro em maior escala, a modernização dos teares, a introdução do ferro fundido (3%C-1%Si, ponto de fusão $\approx 1200^{\circ}\text{C}$) na Europa no século XIV são exemplos importantes destas transformações.

O fim da Idade Média é caracterizado pela invenção da Imprensa (papel+prensa+tintas) e pela introdução da pólvora (oriunda da China). O papel vegetal foi inventado na China cerca de 1000 anos antes e introduzido na Espanha pelos árabes no século XII. Prensas já haviam sido inventadas (extração de azeite) e os tipos metálicos passaram a substituir os de madeira que se desgastavam rapidamente. As tintas à base de óleo de linhaça acabavam de ser inventadas: **DISSEMINAÇÃO DA INFORMAÇÃO E DAS IDÉIAS PARA AS MASSAS!**

Na China, a pólvora era usada apenas para a fabricação de fogos de artifício. O uso militar foi desenvolvido na Europa: primeiro canhão primitivo em 1325, invenção do mosquetão em 1450 e as primeiras bombas e minas por volta de 1500.

O mundo mudou definitivamente!!!



Antes de Gutenberg...

It was first developed in Eastern Asia, and centuries before Gutenberg's birth around 1400 the Chinese knew the system of "movable characters". Characters on **bones, bronze, ceramic and stone** slabs give evidence of the use of writing in China already in the 5th millenium before Christ. Writing became reproducible in larger quantities when the Chinese succeeded in inventing paper approximately 2,200 years ago.

In the beginning paper consisted largely of hemp fibers, then of silk rags or mulberry bark and similarly exotic raw materials. But it worked: Suddenly large writing surfaces were available that could be easily produced.

Depois de Gutenberg...

Before Gutenberg **woodblock** printing was common. A sheet of paper was laid over the inked woodblock and an impression taken by rubbing - a complex and lengthy procedure. The basic idea of Gutenberg's invention was the splitting up of the text into individual components such as lower and upper case letters, punctuation marks, ligatures and abbreviations, based upon the tradition of medieval scribes.



Alquímia

Na cultura árabe, a alquímia era uma "mistura de ciência, arte e magia que floresceu gradualmente até atingir uma forma inicial de química. A alquímia referia-se à transformação da substância dos objetos na presença de um agente espiritual, muitas vezes chamado de 'pedra filosofal'. Usavam-se metais e minerais, mas se acreditava que participavam não apenas como corpos materiais, mas também como símbolos do mundo cósmico do homem - daí sua correlação, em desenhos e manuscritos de alquímia, com sinais astrológicos: por exemplo, o sinal do Sol indicava o ouro, o da Lua, a prata, enquanto o de Mercúrio significava mercúrio e Vênus, o cobre. Era uma 'ciência' que envolvia o cosmo e a alma, em que a natureza era um domínio sagrado, que fazia nascer minerais e metais. "

A alquímia ocidental estava muito mais preocupada com a transmutação de metais não-preciosos em ouro do que a oriental.

Segundo alguns autores, a Alquímia é o berço da Química.

Fabricação de uma lima para metais...

“Queima-se o chifre de um boi no fogo, raspando-o e misturando-o com uma terça parte de sal e em seguida moendo-o bem. Depois coloca-se a lima no fogo e quando brilhar salpica-se esse preparado por toda ela, e, aplicando-se algumas brasas, sopra-se rapidamente sobre ela, mas de tal forma que a têmpera não caia... arrefecendo-a na água.”

Expresso em termos mais técnicos, o processo descrito por Teófilo consistia em acrescentar-se carbono e aquecê-lo até que o ferro tivesse absorvido ou dissolvido bastante carbono para adquirir as características do aço, no caso maior dureza.

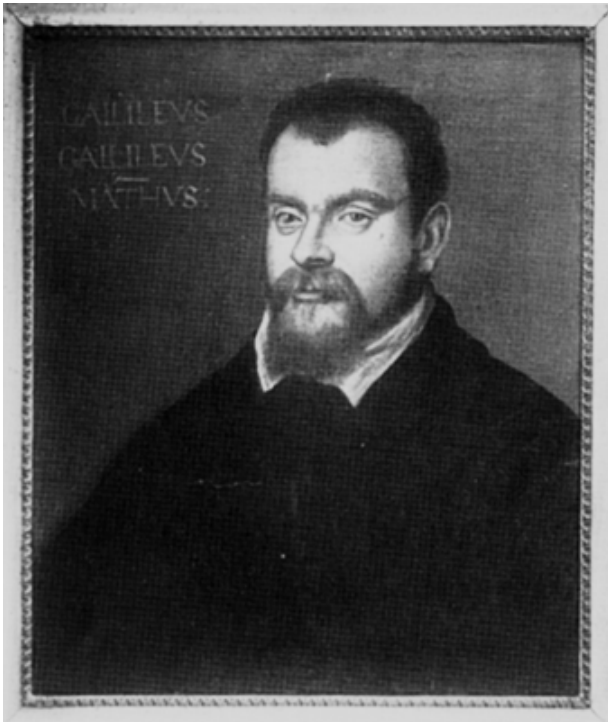
A Ciência Moderna

Science, as we now understand it, is making use of **scientific method** of controlled experimental verification of hypothesis. **Before the 1500s**, it was typically thought that the natural world could be understood by invoking supernatural deities, or by simplistic theories founded on casual observation and common sense.

A Ciência Moderna

Experimentação

O método científico



Galileu Galilei
1564-1642



Rene Descartes
(1596-1650)

"Penso, logo existo."



Francis Bacon
1561-1626

A Ciência Moderna

O Método Científico:

Experimentação

Formulação de hipóteses

Repetição dos experimentos por outros cientistas

Repetição do testes das hipóteses (validação)

Formulação de generalizações e leis

Regras de ouro:

Dividir o problema em quantas partes forem necessárias...

Conduzir os pensamentos/experimentos do mais simples para o mais complicado.

Realizar revisões cuidadosas periodicamente (**seja cético!!!**).

Acolher como **verdadeira** apenas a conclusão que definitivamente que não deixa dúvida.

Na dúvida, rejeite a conclusão.

De La Pirotechnia (1540)

O primeiro livro sobre metalurgia
(mineração) foi publicado em **1540** por
V. Biringuccio em Veneza (*De la pirotechnia*)...



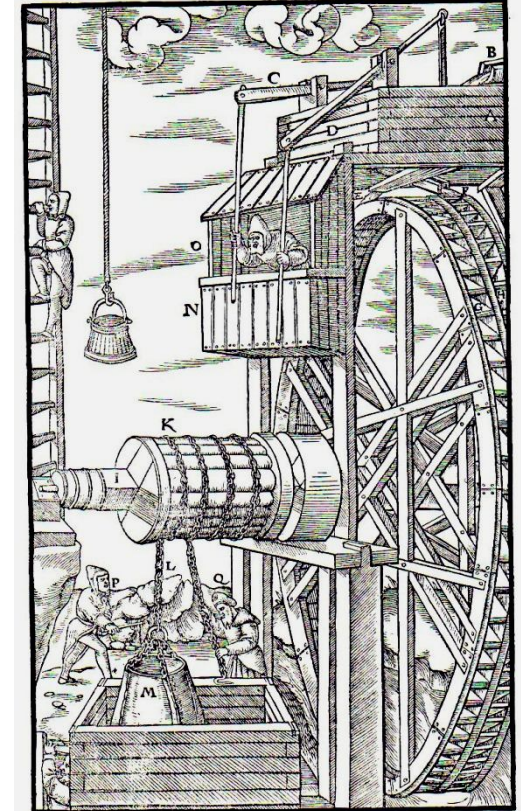
TITLE PAGE OF FIRST EDITION—1540.

De Re Metallica (1556)

Abordava as práticas de mineração e pirometalurgia, principalmente dos metais não-ferrosos, incluindo desenhos e ilustrações que permitem conhecer como os metais eram processados à época.



Georg Bauer (1494-1555)
Georgius Agricola



As Revoluções Científica e Industrial

A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA

O alto-forno a carvão mineral apareceu por volta de 1630. O primeiro laminador remonta aproximadamente ao ano 1700. O processo de refinação do ferro chamado pudlage foi patenteado na Inglaterra em 1781 por Henry Cort, difundindo-se com rapidez bem inusitada. A pudlage é descrita como a mais pesada forma de trabalho jamais empreendida regularmente pelo homem. Entretanto, o grande impulso ao desenvolvimento da siderurgia ocorreu com o advento da tração a vapor e o surgimento das ferrovias, a primeira das quais inaugurada em 1827.

Até o fim do século XVIII, a maior parte das máquinas industriais eram feitas de madeira. O rápido desenvolvimento dos métodos de refinação e de trabalho do ferro abriu caminho a novas utilizações do metal e à construção de máquinas industriais e, por consequência, à produção em quantidade de objetos metálicos de uso geral. ***A verdadeira máquina é de metal: o desenvolvimento da metalurgia condicionará todo o desenvolvimento do maquinismo.***

Em meio às guerras napoleônicas desenvolve-se a técnica do aço de cadinho. Krupp é um dos reivindicantes da patente ao fim da guerra em 1815.

A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A siderurgia na Grã-Bretanha e o poderio comercial britânico

O uso das máquinas a vapor

O uso do carvão

As máquinas de tear e o aumento de consumo (massificação da produção)

As estradas de ferro

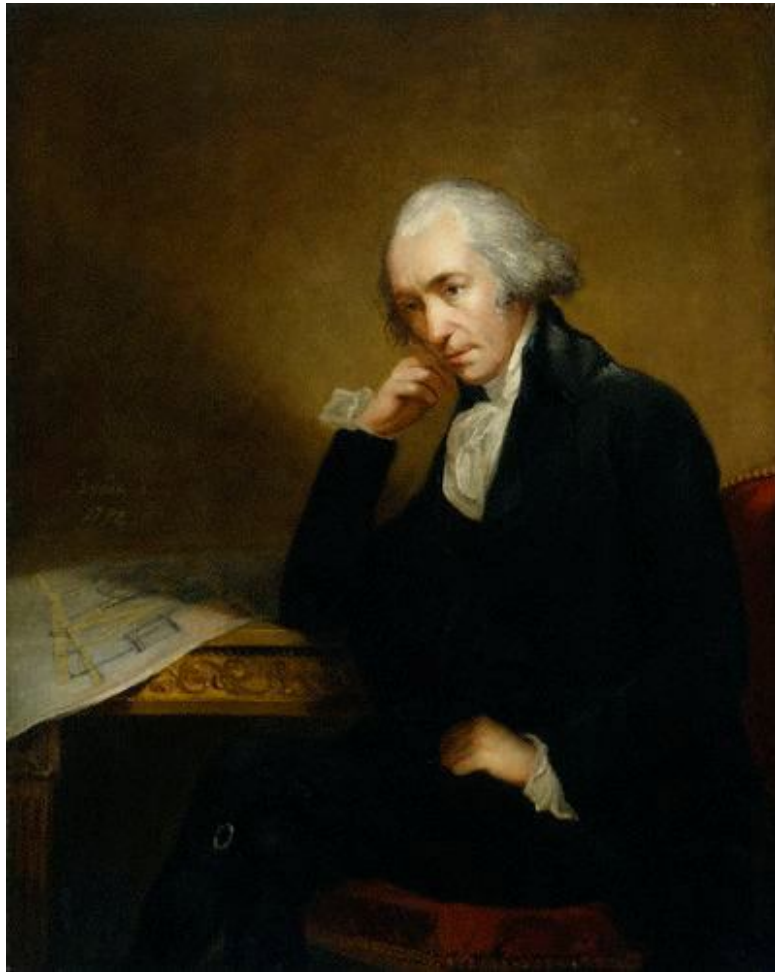
A indústria química

Na segunda metade do século XIX o desenvolvimento siderúrgico foi muito rápido, aparecendo os processos Siemens Martin (1865), Bessemer (1870) e Thomas (1888), de obtenção do aço em escala industrial. Outro método de fabricação do aço que ganhou ampla aceitação é o forno elétrico. Mas, devido às suas pesadas demandas de energia, é de operação dispendiosa. Embora seja capaz de fabricar o aço a partir do ferro gusa, é normalmente utilizado para o ulterior refino do metal já refinado.

O trabalho do aço, base da nossa civilização, é agora seguido, passo a passo, pelo controle dos instrumentos científicos, tanto na medida das temperaturas como no exame microscópico dos produtos obtidos.

Atualmente o processo mais usado na obtenção do aço é o processo LD (Linz-Donawitz) e, nas aciarias espalhadas pelo mundo, são produzidas centenas de milhões de toneladas por ano (a marca de um milhão de toneladas por ano foi conseguida em 1876; em 1926, já se fabricava cem milhões de toneladas/ano, chegando-se atualmente a níveis de 700 milhões de toneladas, ou mais) de aços das mais diversas qualidades e propriedades mecânicas, sob a forma de chapas, perfis, barras, tubos, trilhos, etc.

Máquinas a vapor: essenciais para a Revolução Industrial



James Watt (1736-1819)



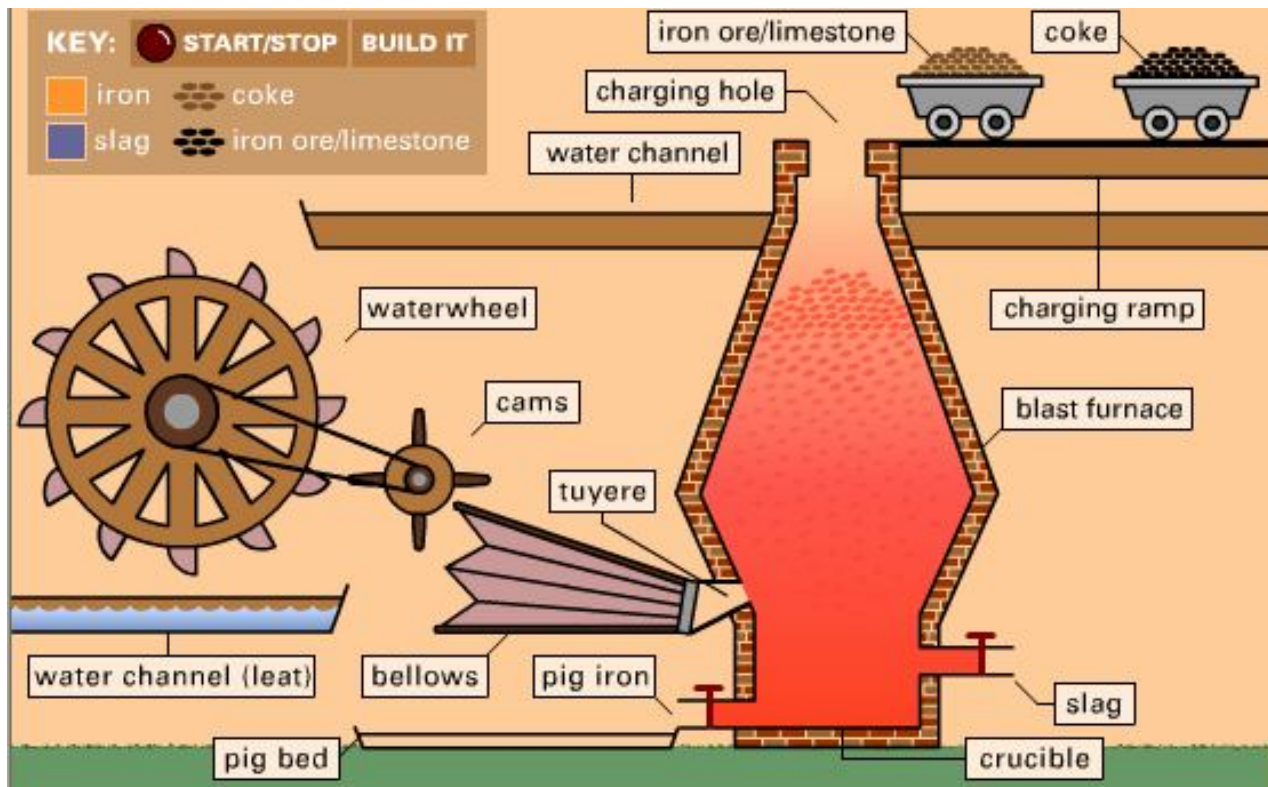
1778 – 1º motor a vapor

Estradas de ferro (aço + vapor): um dos frutos da Revolução Industrial

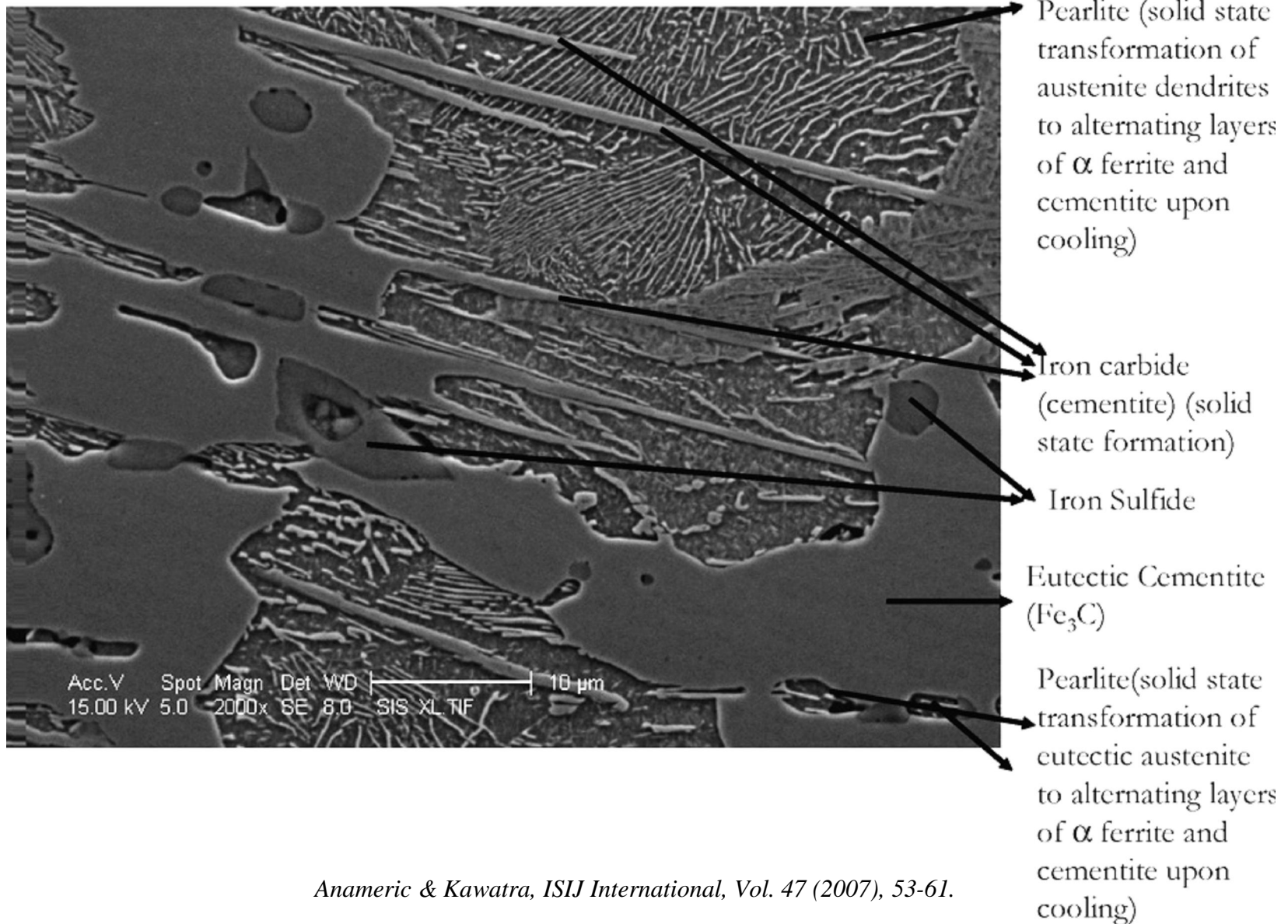


TEH
SCAN

Como se obtinha ferro metálico?



Microestrutura do ferro gusa (*pig iron*)



Conversor Siemens-Martin (1865):
Uso de óleo e gás como combustível,
aproveitar sucata (50% sucata-50% gusa) e
e refino via escória

Conversor Bessemer:
produção de aço (baixos teores de Mn, C e Si)
Injeção de ar comprimido (oxigênio) nas *tuyeres*

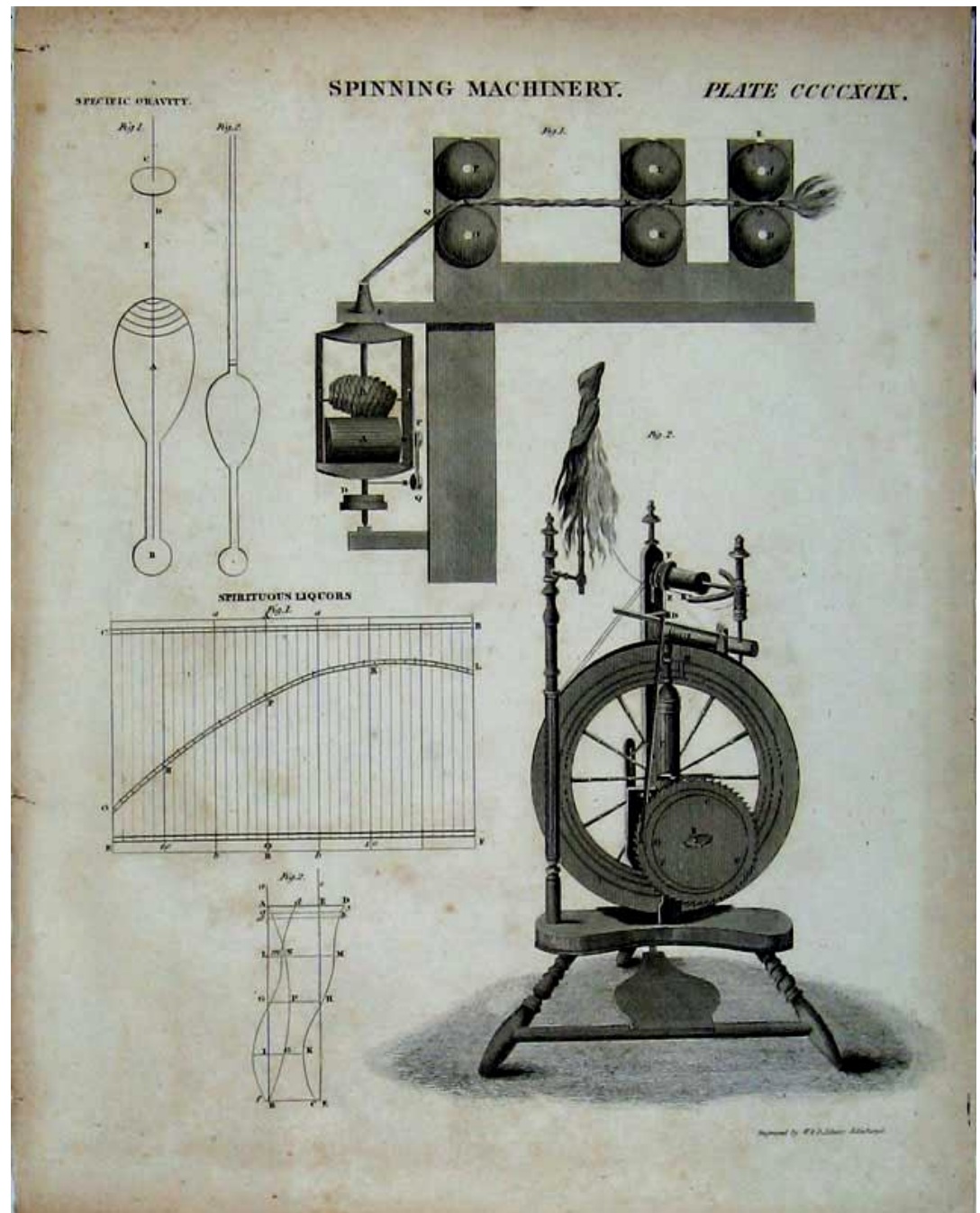


Sir Henry Bessemer, Sheffield, 1856

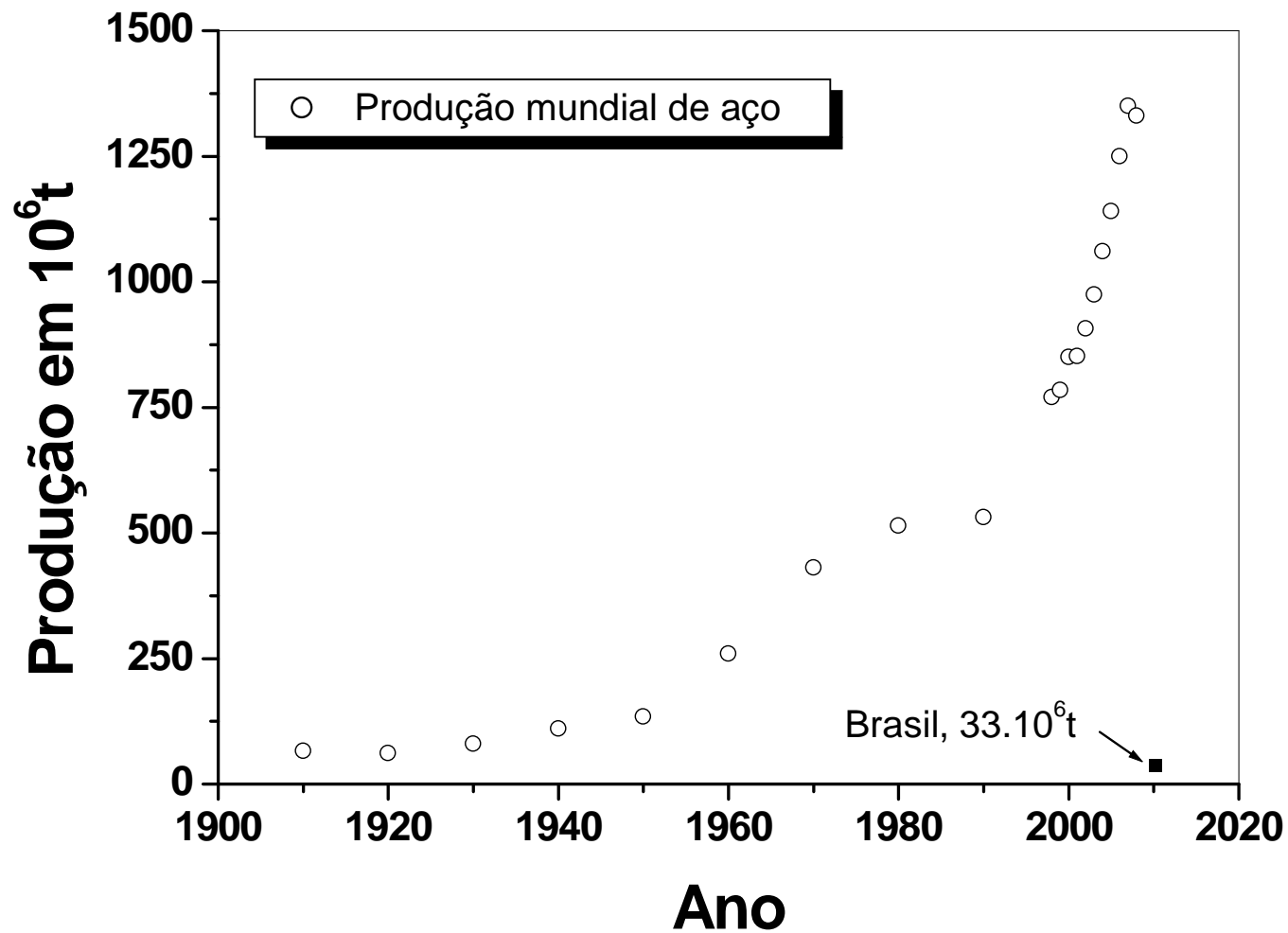
Conversor Linz-Donawitz (LD):
produção de aço (baixos teores de Mn, C e Si)
Injeção de oxigênio puro (4-12 bar)



**Teares a vapor:
Massificação da produção**

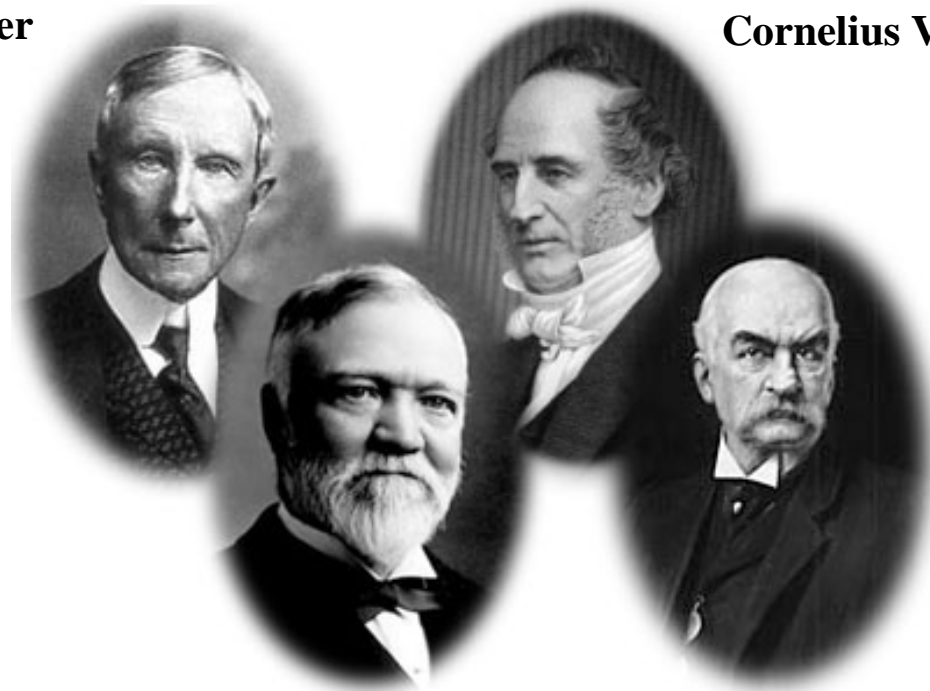


Produção mundial de aço



Barões do capitalismo (indústria + bancos)

John D. Rockefeller



Cornelius Vanderbilt

Andrew Carnegie

J. P. Morgan

A era eletrônica

1897 - Descoberta do elétron (Thompson).

1904 – Invenção do diodo (válvula termiônica), discriminação das frequências de rádio.

1907 – O triodo é patenteado, *Audion* (amplificação dos sinais de rádio).

1940 – Russel Ohl (Bell Labs) descobre que impurezas em semicondutores criam efeitos fotoelétricos interessantes.

1947 – Bardeen, Shockley e Brattain (Bell Labs) inventam o transistor (germânio), um triodo do estado sólido.

1954 - Primeiro transistor para rádios (miniaturização).

1955 – Primeiro transistor em silício (Frosch e Derick, Bell Labs).

1958-59 – Invenção do circuito integrado (Jack Kilby, TI and Robert Noyce).

1967 – Primeira calculadora de mão inventada (TI, Jack Kilby).

1970 – Primeiro CD-ROM (*compact disc read-only memory*) patenteado.

1971 – Intel, fundada em por R. Noyce, desenvolve o primeiro chip (microprocessador).

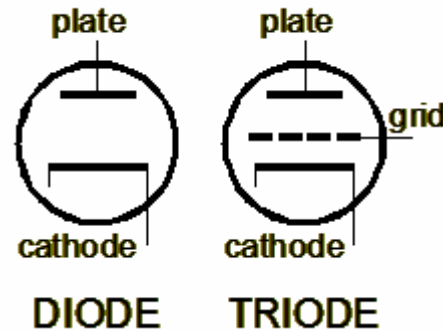
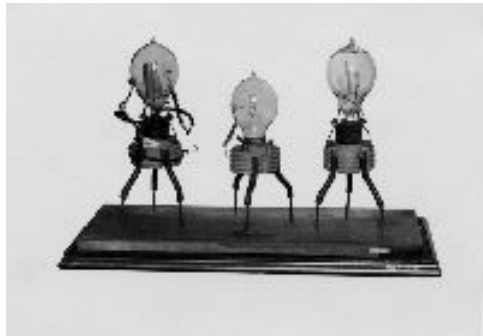
1972 – Primeiro *video game* torna-se comercial (Magnavox, Odyssey 100).

1998 – Primeiro transistor de plástico patenteado (Katz *et al*, Bell Labs).

Início da era eletrônica?

Conceituação de equipamentos portáteis (*wireless*)

1904, J.A.Fleming



1906-7, Lee de Forest

*Lee De Forest, american inventor of the Audion vacuum tube, which made possible live radio broadcasting and became the key component of all radio, telephone, radar, television, and computer systems before the invention of the **transistor** in 1947.*



As dez matérias-primas mais importantes do futuro

- 1º – Petróleo (mais 40 anos?)
- 2º – Ouro (finanças, €1.300 / 31,1 g)
- 3º – Prata (17 vezes mais abundante que o Au)
- 4º – Gálio (uso em dispositivos tipo LED, subproduto da bauxita)
- 5º – Índio (uso em celulares e dispositivos fotovoltaicos)
- 6º – Lítio (baterias: Argentina, Bolívia e Chile)
- 7º – Neodímio (tomógrafos e magnetos, China)
- 8º – Tungstênio (ferramentas para usinagem – WC, China)
- 9º – Paládio (catalisadores, indústrias aeroespacial e eletrônica)
- 10º – Fosfatos (fertilizantes...alimentos)

