

o trabalho do engenheiro metalurgista no Brasil há 201 anos

Fernando José Gomes Landgraf
Professor Titular da Escola Politécnica da USP

Paulo Eduardo Martins Araújo, historiador
12 de novembro de 2019

- Estudar história sempre exige a definição de recortes:
 - Que assunto?
 - Que período será abordado?
 - Que região?

Engenharia no século XIX

Questões para os alunos

- O que aconteceu no Brasil no século XIX?
Fazer uma linha do tempo.
- Quando surgiu o ensino da engenharia?
- O que aconteceu na engenharia brasileira no sec XIX?

História

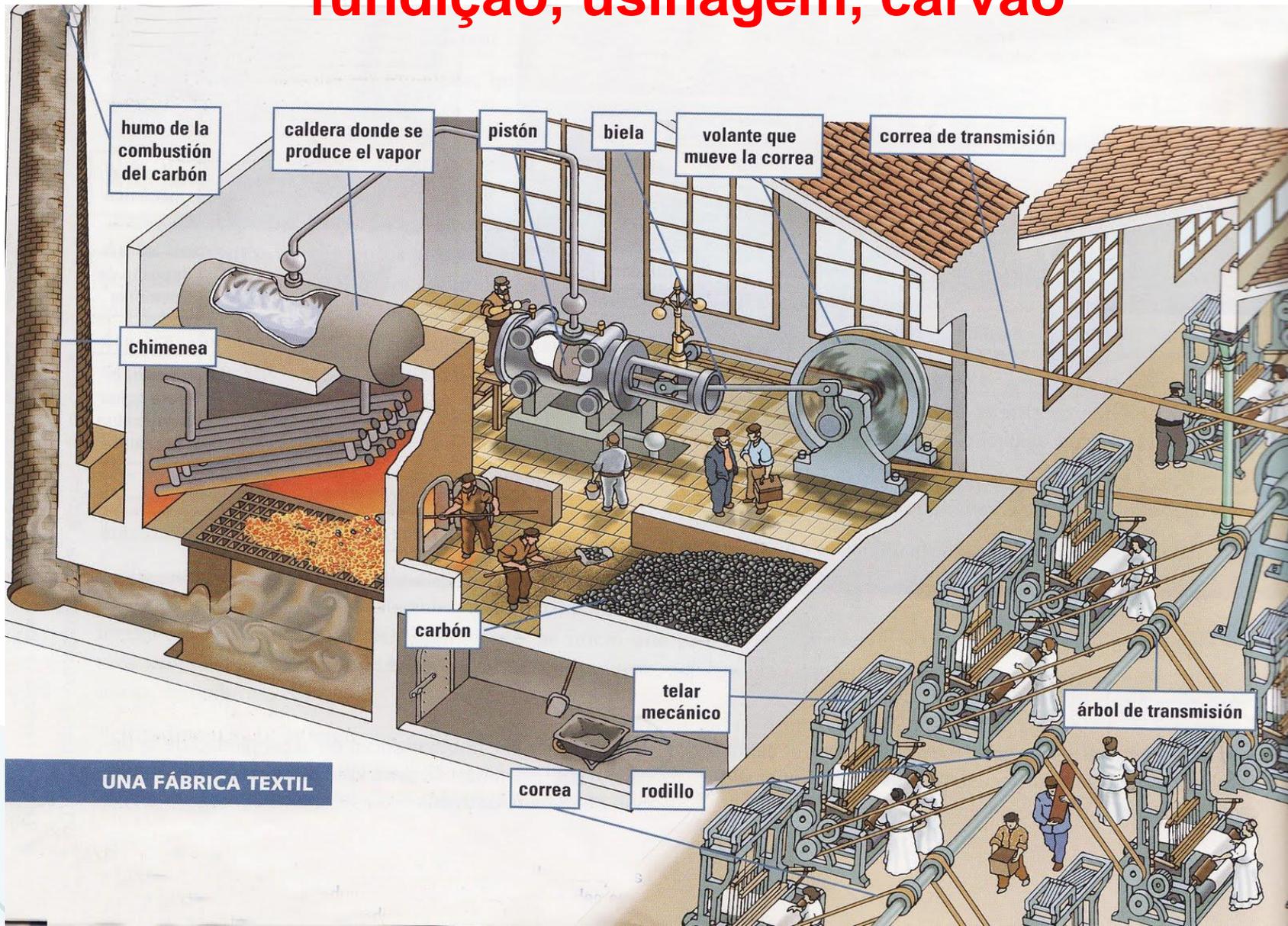
- A história do Brasil pode ser vista por diversos ângulos: política, economia, costumes, artes...
- O viés da engenharia é raramente abordado: é nossa chance de trazer algo de diferente.
- O século XIX é uma fase de grandes transformações no mundo e no Brasil.
- Naquele século a metalurgia foi o motor de muitas transformações.

Engenharia

Engenharia nasce fora da universidade, com

- Pensamento: Iluminismo, racionalismo,
- Ação: Primeira Revolução industrial

1ª revolução industrial: têxtil, fundição, usinagem, carvão



Iluminismo

- Teares mecânicos, máquina a vapor, pistões e cilindros, fundição de ferro fundido, usinagem
- Multiplica-se a literatura sobre produção de ferro
- Surgem as primeiras escolas de mineração e metalurgia: Bergakademie Freiberg (1765), École des Mines (1783).
- Ingleses publicam pouco e a Royal School of Mines é de 1851.

Engenharia

- Engenharia, com esse nome, como uma profissão, nasceu no século XIX. Dentro do exército, existia desde o XVIII .Daí a expressão “engenharia civil”, a primeira engenharia não-militar.
- Na França, as escolas de engenharia surgem após a revolução francesa: Ecole des Mines (1783), Polytechnique (1794), Ecole Central (1829)
- No Brasil, a Escola Central (1858), que se transforma em Escola Politécnica (1874), no RJ

Século XIX

- População cresceu de 1 bilhão para 1,7 bilhões
Produção mundial de ferro aumentou de 1 Mt/a, in 1800, para 25Mt/a, em 1900, 3,3% de crescimento médio no século XIX.

Aplicações de ferro fundido cresceram na 1ª metade:
objetos domésticos, caldeiras,

Aplicações de aço laminado cresceram na 2ª metade
Trilhos, pontes, construção

Siderurgia inglesa ao longo do XIX

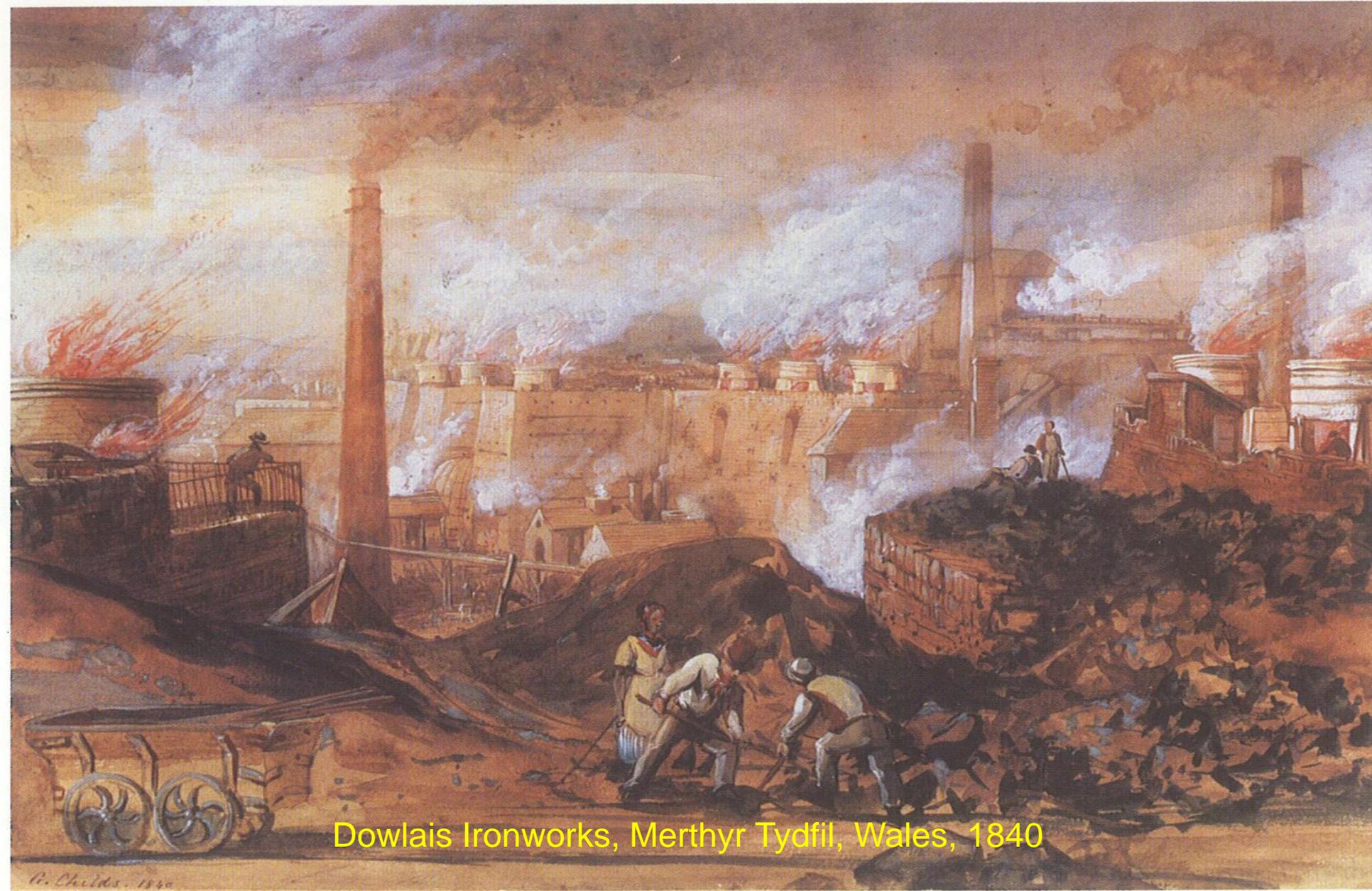


Altos fornos de Bedlam,
Coalbrookdale, 1801

País de Gales tinha carvão mineral e minério de ferro,
Teve sucesso como área siderúrgica no XIX

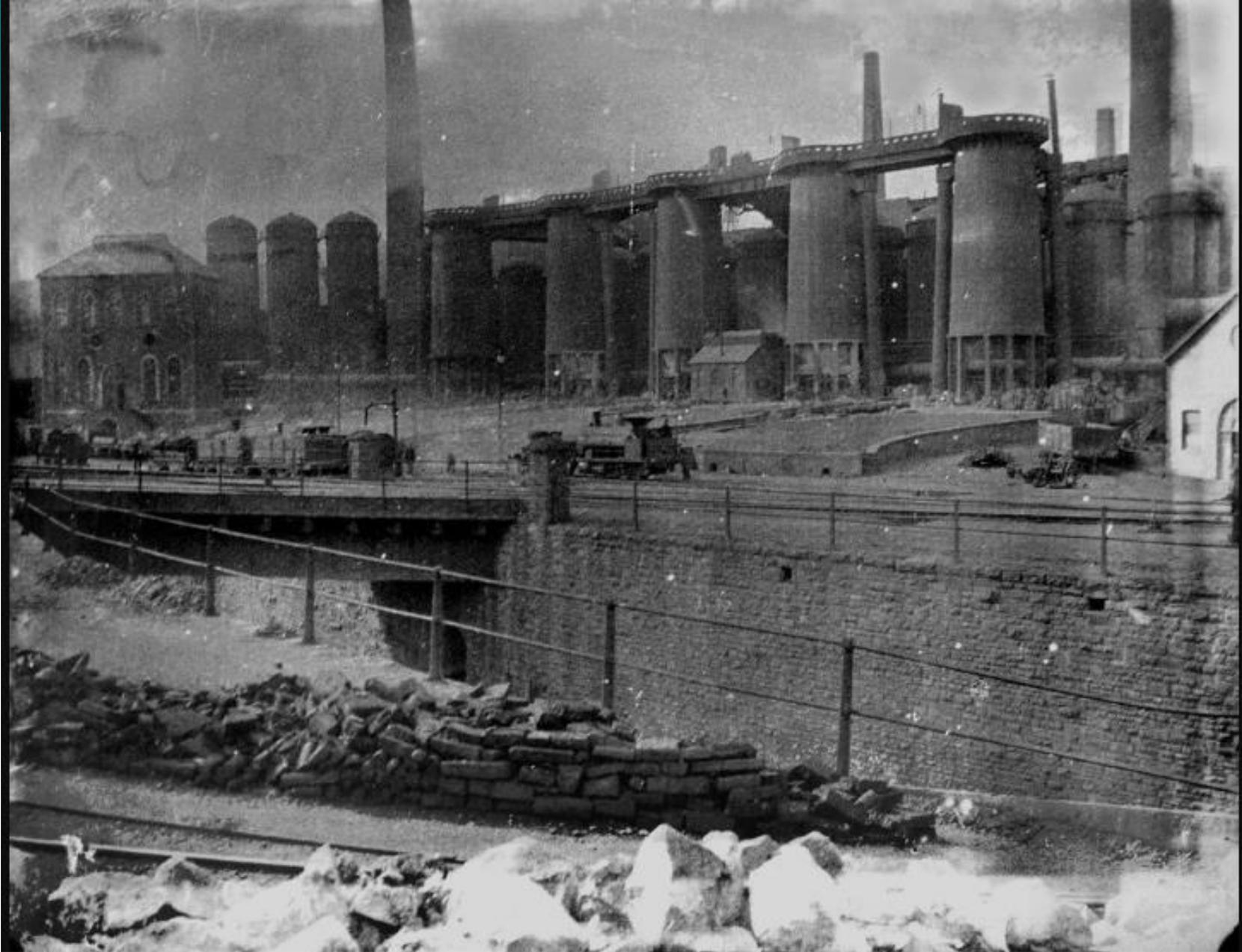


Merthyr Tydfil, Wales, 1817



Dowlais Ironworks, Merthyr Tydfil, Wales, 1840

G. Childs. 1840



Cyfartha Ironworks, Merthyr Tydfil 1900, Wales,
GB



Carnegie Steel , 1905, Homestead, Penn, USA

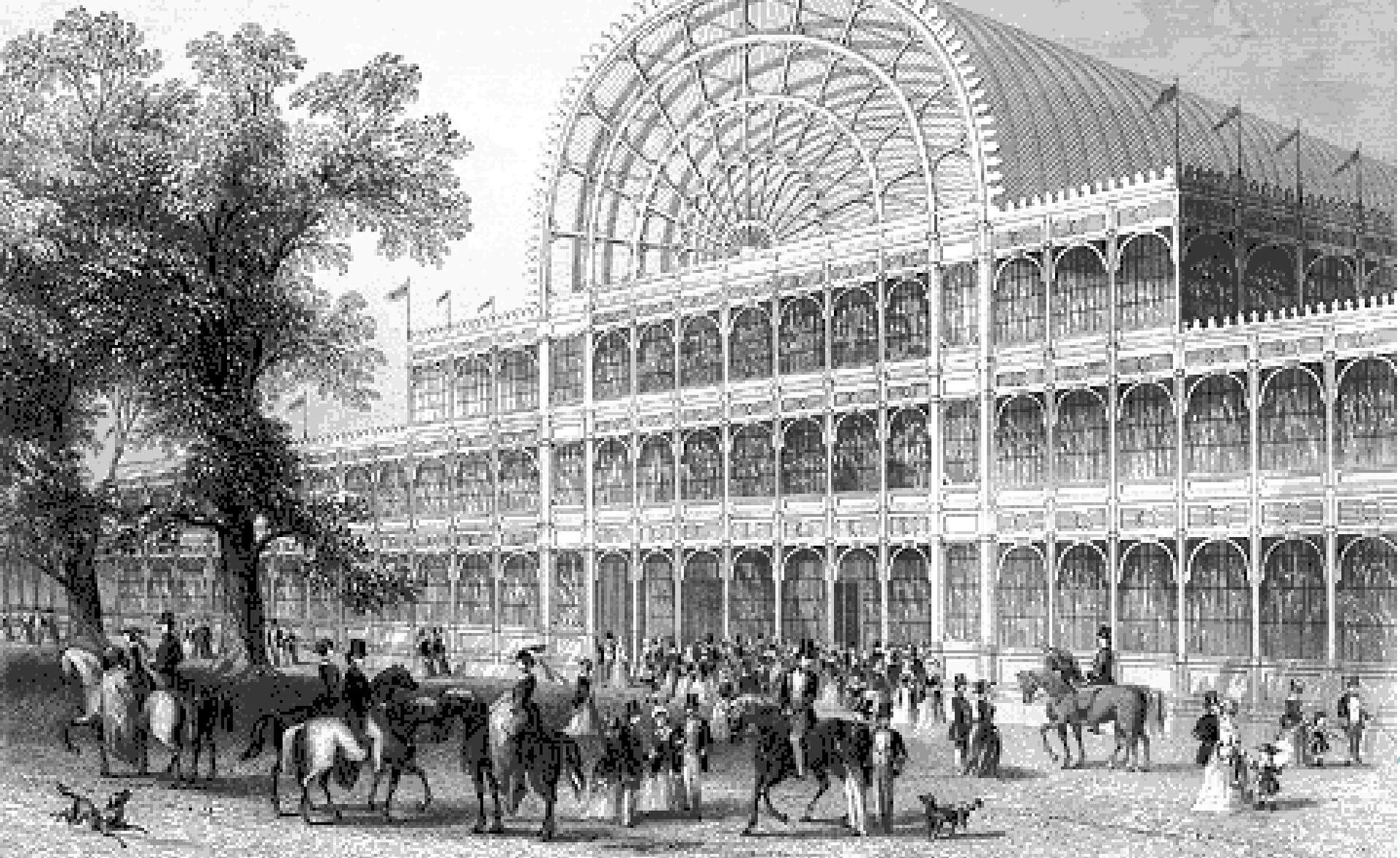
ferro na arquitetura do XIX



A primeira Ponte de Ferro Fundido, construída em 1776
Por Abraham Darby, de Coalbrookdale.

Crystal Palace, Londres, 1851

O ferro fundido



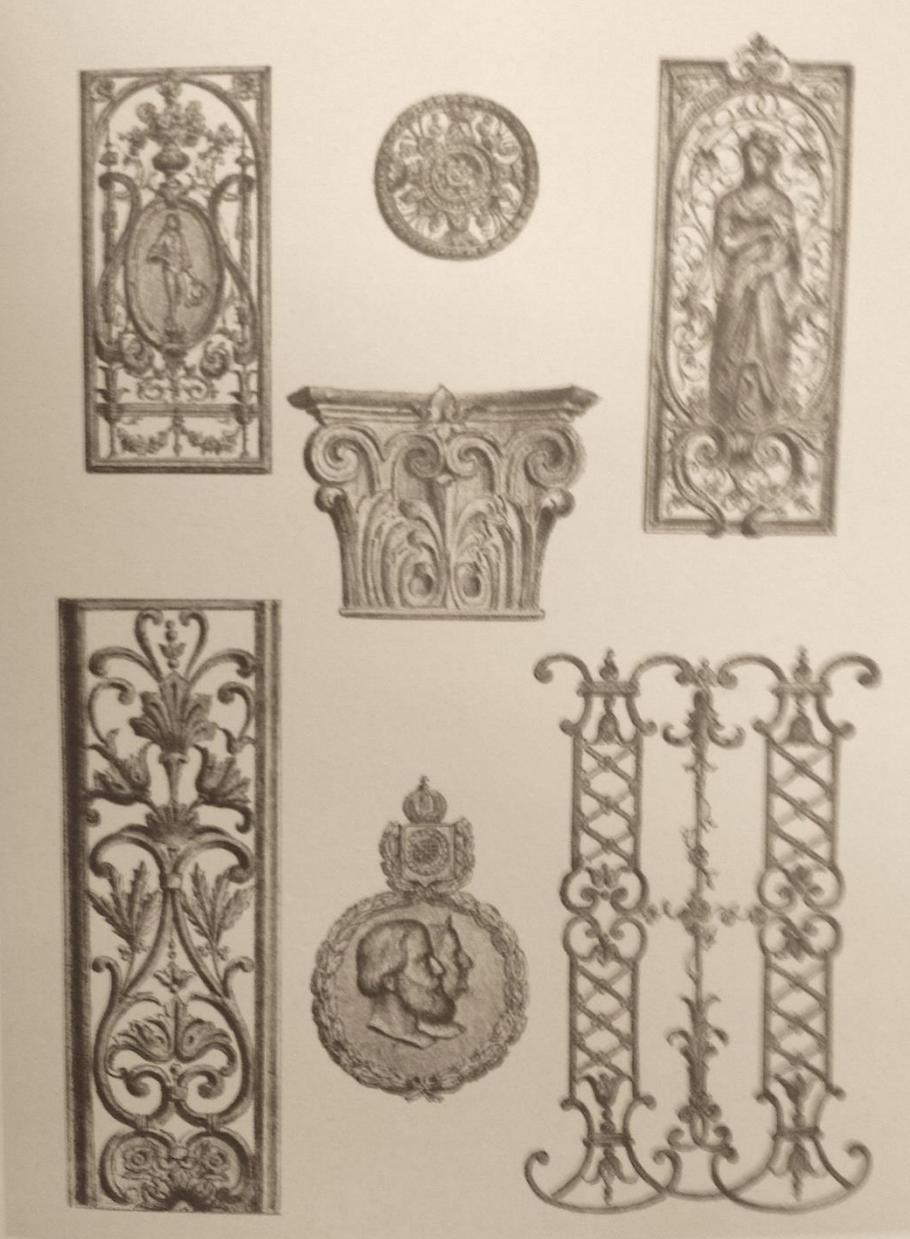
Exposição Universal de Paris: A Torre de ferro batido, em 1889



O ferro no XIX brasileiro



Este quadro de Debret mostra nitidamente, em 1831, as grades de ferro. Esse é o dia da aclamação de D. Pedro II como Imperador do Brasil.



ORNATOS DE FERRO FUNDIDO

Feitos e expostos pelo Sr. Miguel Couto dos Santos

MEDALHÃO DE FERRO FUNDIDO

COM OS RETRATOS DE SS. MM. R.
Feito e exposto pelo Sr. H. Hargreaves

Em 1861 foi organizado, no Rio de Janeiro, a 1ª Exposição Nacional, seguindo a onda das Exposições Internacionais da Europa.

Foi produzido um Catálogo que exemplificava os produtos lá exibidos.

Dentre eles, ornatos de ferro fundido produzidos por Miguel Couto dos Santos que operou uma importante fundição naquela cidade.

Isso mostra que grades de ferro fundido estavam sendo produzidas no Brasil em 1860.



Em 1862, o fotógrafo Militão registra muitos locais de SP. Grades de ferro já dominam as fachadas.



A Casa da Bóia, construída em 1890 na Florêncio de Abreu, tem duas características interessantes: grades de ferro batido e colunas de ferro fundido.



Rua Vitória, São Paulo.



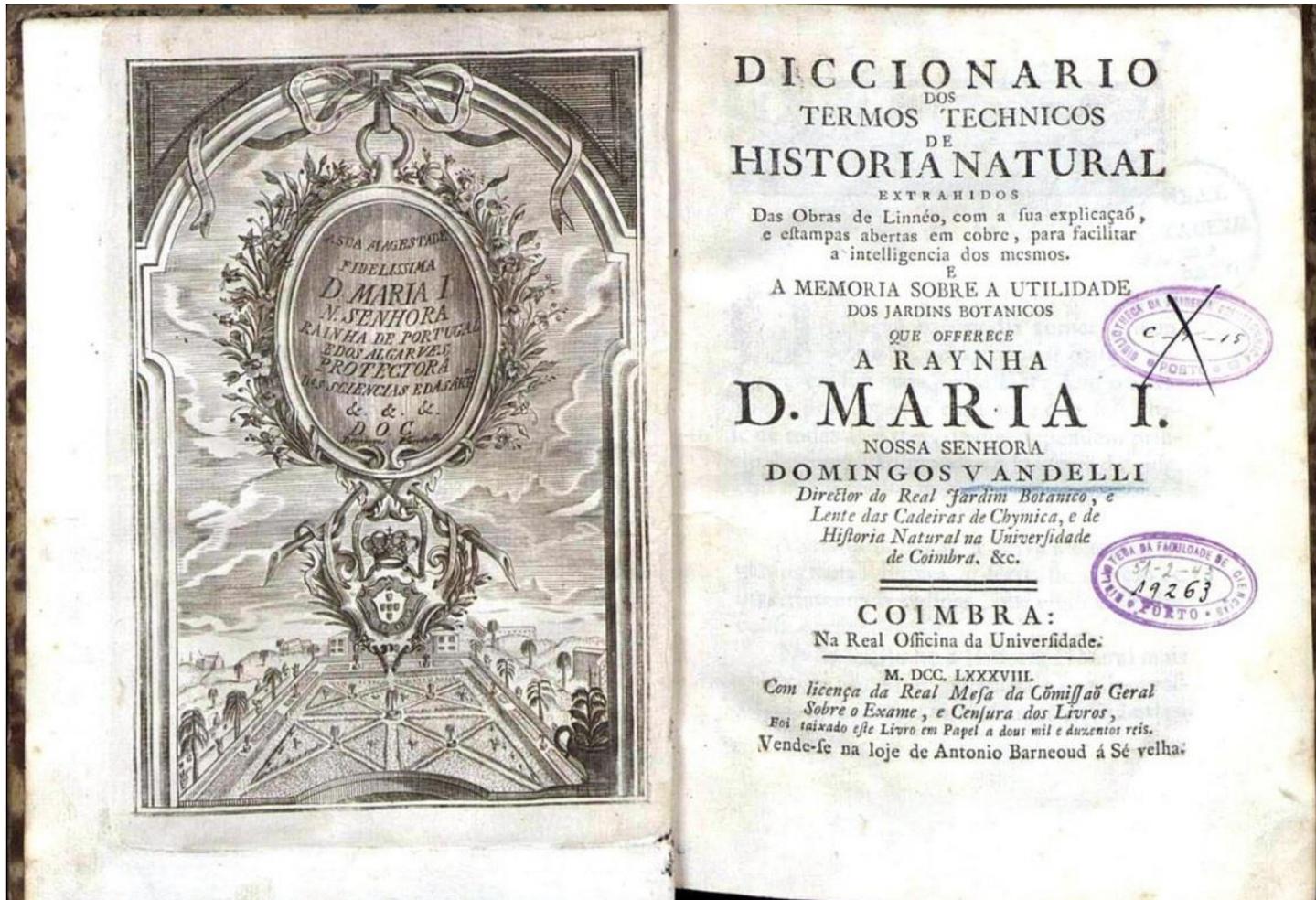
Casa 1, Pateo do Colegio, São Paulo

Mas e o trabalho do
engenheiro?

Iluminismo em Portugal

- O enfrentamento da crise da produção mineira brasileira do fim do XVIII ensejou ações diversas, de legislação, investimento, treinamento e estudos, com foco na metalurgia:
 - Criação da cadeira de Química e História Natural na Universidade de Coimbra (1772), com D. Vandelli
 - Viagem de José Alvares Maciel para Birmingham, em 1786.
 - Viagem de estudos de José Bonifácio e Manoel Câmara (1790-1800), para França, Saxônia, Áustria, Itália, Suécia
 - Viagem de Hipólito da Costa (1798-1800) para Philadelphia, EUA.
 - estudo sobre a necessidade de produção metálica na capitania de Minas Gerais, por José Vieira Couto, 1799
 - Criação da cadeira de metalurgia na Universidade de Coimbra em 1802
 - Reinvestimento na Fábrica de Ferro de Figueiró dos Vinhos, em Portugal (1802), contratando técnicos e engenheiros alemães (L.F. Varnhagen e G. Eschwege)

Iluminismo em Portugal



Domenico Vandelli (1735-1816), estudou medicina em Pádua, foi o primeiro professor de química da universidade de Coimbra (1772-1800), influenciando dezenas de alunos.

Iluminismo em Portugal



- Um aluno brasileiro escreveu, em 1799, defendendo altos fornos no Brasil:
 - *A fábrica de ferro, ou as fundições e forjas deste metal, é uma das coisas mais complicadas da arte metalúrgica: o ferro, sendo um metal de vil preço, é por conseguinte preciso que ... tais fábricas e fundições, tudo deve ser em um ponto grande. Os fornos são de 20 pés em quadro e 25 de alto Semelhante a um pequeno Etna, vomita de tempos em tempos uma leva de ferro de 15 pés de comprimento. ... Esta labutação atura sem cessar 10 ou 12 meses contínuos.*

No mesmo texto de 1799



...o carvão influi e altera a qualidade do ferro, segundo a sua natureza: quantas miudezas! É preciso caminhar passo a passo e observar atento! Eis aqui o que um tal fundidor ordinário nunca saberá fazer; sabe sim muito bem como se deva fundir a mina do seu país, sabe o grau de fogo que lhe deve dar, sabe os fundentes que lhe deve ajuntar; porém ignora a razão de tudo o que faz ”

programa de curso na Universidade de Coimbra, 1802

A Metalurgia..., com todos os seus pertences da criação de máquinas, levadas d'água, açudes, edifícios, etc., requer um ano por inteiro, e as vezes mais, como se costuma praticar constantemente nas Academias da Europa.

Landgraf : **O engenheiro metalurgista José Bonifácio**. In: Simpósio Comemorativo Vicente Coelho de Seabra. 1ed. Belo Horizonte: UFMG, 2015, v. 1, p. 173-190.

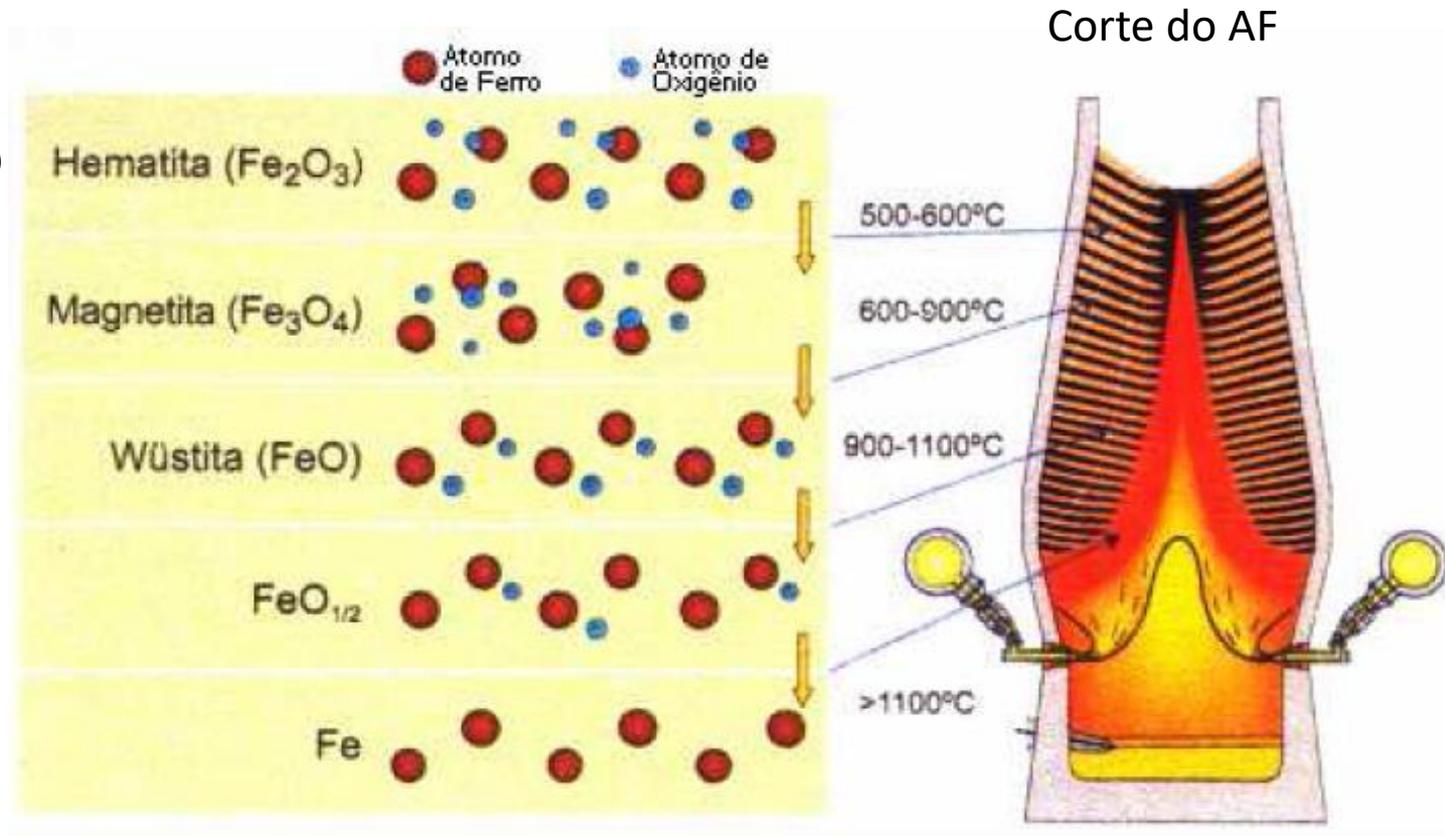
A opção pelo Alto Forno

- os treinamentos mostraram a todos que o Alto Forno era a tecnologia que estava permitindo a enorme expansão da produção de ferro na Inglaterra (200kt/ano), Suécia (40kt/ano), Alemanha e França, no início do XIX.
- O Alto forno permitia operação contínua e produzia ferro líquido. Os fornos espanhóis e africanos da época eram descontínuos e não produziam gusa.

O Alto Forno

Até hoje se produz ferro pelo alto-forno.

Seu perfil tem quase a mesma forma.



Minério de ferro é transformado em ferro metálico ao longo da descida da carga. Minério e carvão entram sólidos lá em cima, ferro líquido sai em baixo.



Olhando por dentro:
Alto forno de Ipanema
era bem parecido com
esta maquete

Governo Português investiu em AF em 1802

Governo português construiu AF em Portugal: Foz do Alge

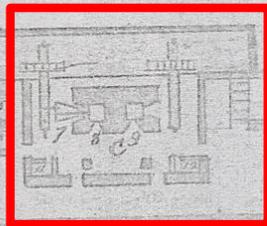


Planta de Foz do Alge

Plano da Real Fabrica das Ferrarias
de Foz de Alge
1804

C. Quartéis dos Soldados.
 19 Cozinha
 20 Corpo da Guarda
 21 Quarta dos Soldados
 22 d.º do Sarjente
 F. Cozas menduças acabada.
 23 24 Cozas p.ºs Officiaes
 25 Cozinha
 I. Parte do Ribeiro d'Alge
 K. Comunhão p.º Foz de Alge

Altos fornos gêmeos



Explicação

- A. Piteo da Mina.
 1. 2. Fornas p.º Cozer Mina.
 3. Sapado p.º Mina.
 4. Escad. p.º Canal.

- B. Lago p.º Refinar Ferro.
 5. Forja de Refino com Foles.
 6. Mantilha do Refino com Rodas.
 C. Lago de distribuição.
 7. Foles
 8. g. Furnaces

11. 12. Duos Torres p.º Fundidores
 D. Humo Piteo
 13. Humo p.º das Ferrarias
 E. Arrojador de Carbono
 14. Forja das Ferrarias
 F. As Cozas das Ferrarias

15. Quarta do Feitor
 16. d.º da Loureão
 17. Sala da Junta
 18. d.º do Intendente

F.º May Wright 1806

600 600

500 400

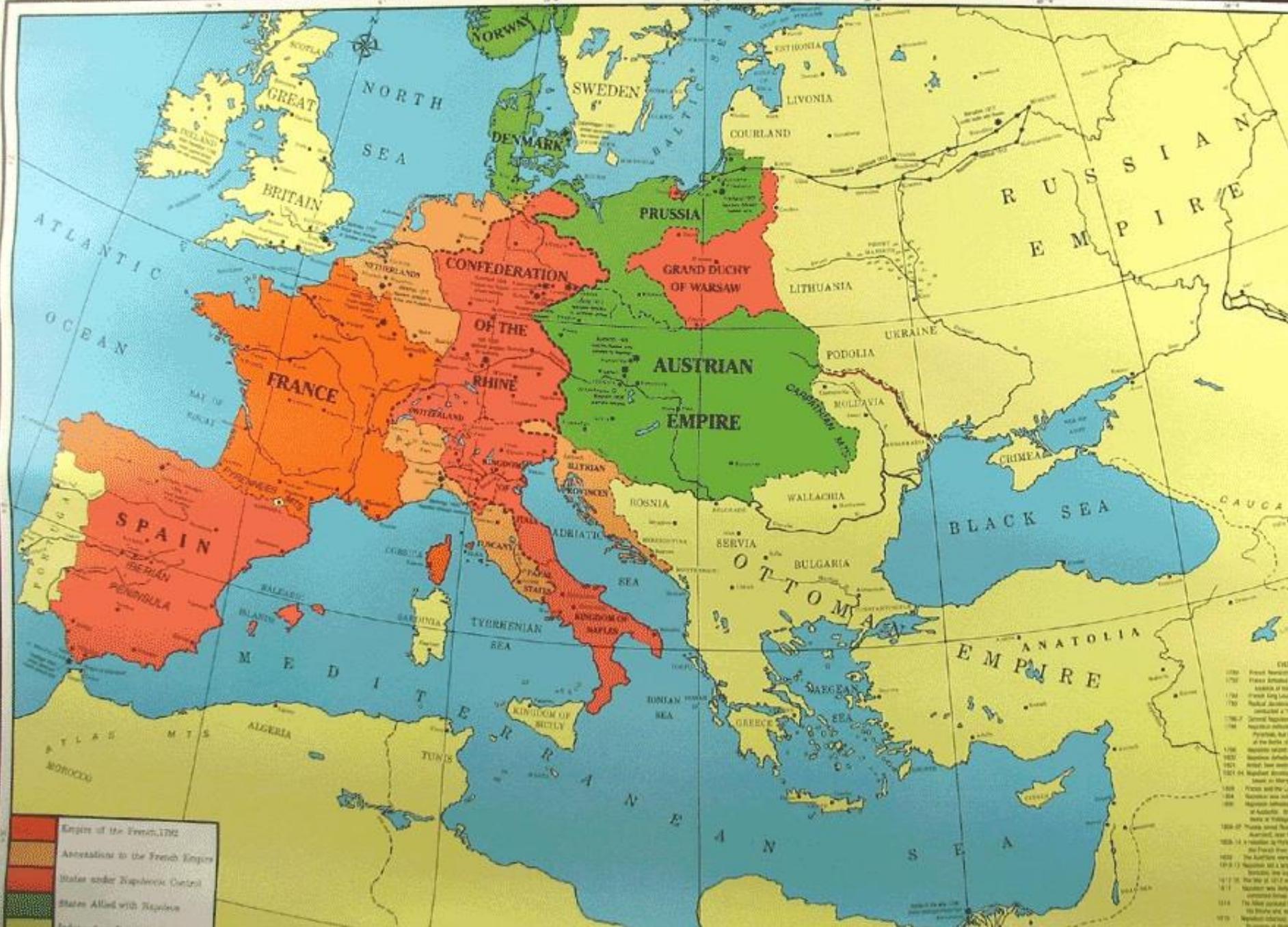
300

200 100

20 40 60 80 100

EUROPE UNDER NAPOLEON, 1810

WORLD MAPS
Bull. Wilson Press, Ph. B. University of Chicago
Author: Dr. Tracy, Ph. D. "The Napoleonic Wars"
1793-1815. London: Cassell, P. B. "The Napoleonic Wars"
Edward Lane, M. A. "Napoleonic Wars"



| | |
|--|----------------------------------|
| | Empire of the French, 1810 |
| | Annexations to the French Empire |
| | States under Napoleonic Control |
| | States Allied with Napoleon |
| | Independent States |

1792 France declares war on Austria
1793 France declares war on Britain
1794 France declares war on the Netherlands
1795 France declares war on Prussia
1796-7 General Bonaparte's Italian campaign
1798 Napoleon's Egyptian expedition
1801 Napoleon's victory at Marengo
1802 Napoleon's victory at Austerlitz
1805 Napoleon's victory at Trafalgar
1806 Napoleon's victory at Jena
1807 Napoleon's victory at Friedland
1808-10 Napoleon's invasion of Spain
1809 Napoleon's victory at Wagram
1810 Napoleon's victory at Aspern
1811 Napoleon's victory at Borodino
1812 Napoleon's invasion of Russia
1813 Napoleon's victory at Lützen
1814 Napoleon's abdication
1815 Napoleon's return to power at Elba
1815 Napoleon's final defeat at Waterloo

1808

Vinda da corte para o Rio

Primeiras medidas econômicas

- Abertura dos portos
- Fundação do Banco do Brasil
- Fábrica de Pólvora no Rio
- Iniciam 3 projetos siderúrgicos

Três empreendimentos siderúrgicos iniciados em 1810

- Fábrica de Gaspar Soares: no Distrito Diamantino, dirigida por um brasileiro.
- Fábrica de Ipanema: perto de Sorocaba, dirigida por um sueco e logo depois por um alemão
- Fábrica Patriótica: perto de Ouro Preto, dirigida por um alemão.

Focalizaremos Ipanema

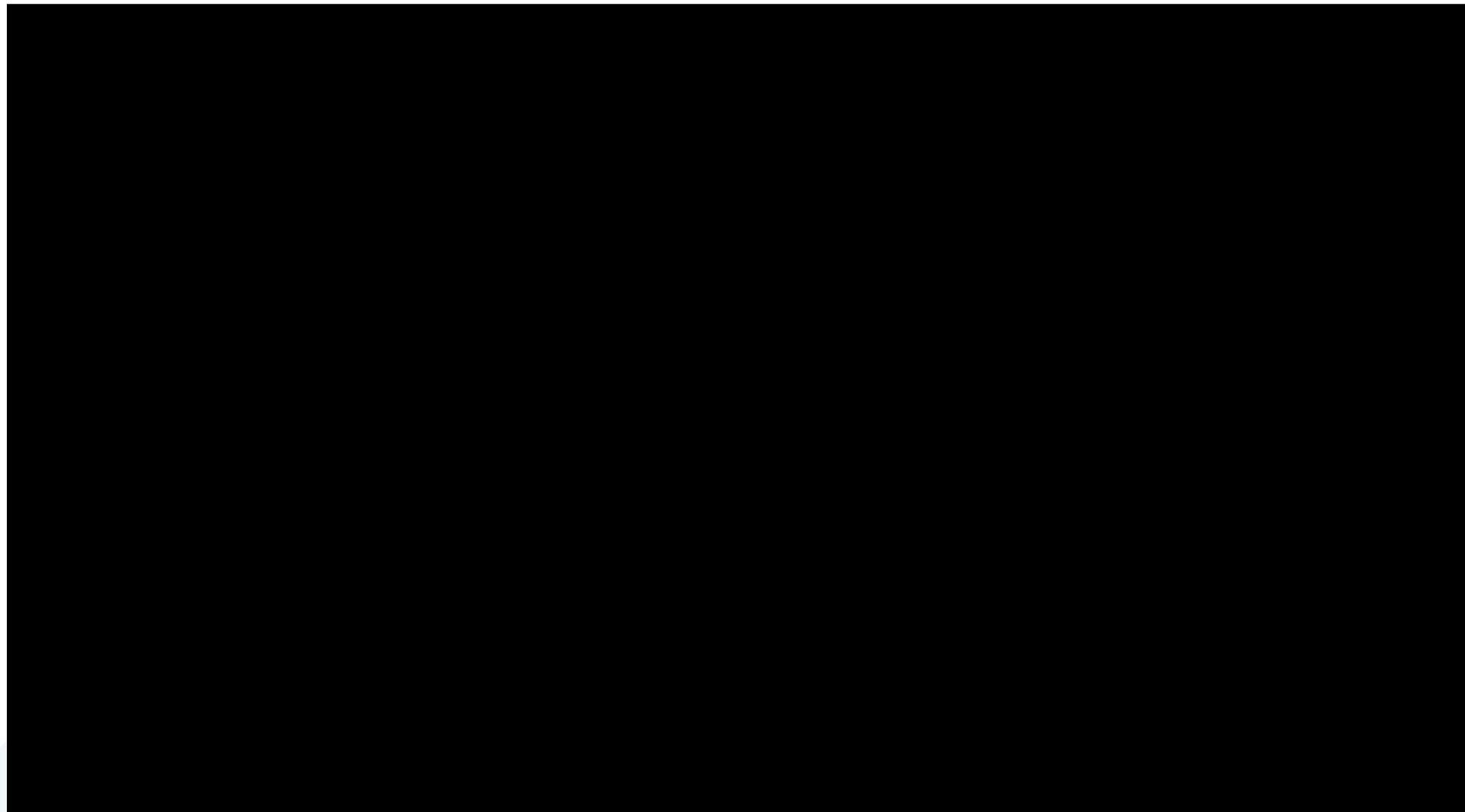


A área verde é a Floresta nacional de Ipanema, onde fica a FFI. 39

Floresta Nacional de Ipanema – ICM Bio



A Fábrica de Ferro de Ipanema durou 100 anos, tem muitos registros históricos , estudantes da Escola de Minas de Ouro Preto íam visitá-la, tem remanescentes conservados, vale uma visita!



No início, Intrigas internacionais prejudicaram o negócio

- O cônsul sueco no Rio de Janeiro, Johan Albert Kantzow, relata a chegada dos suecos:
- Ao Rei, 15 de dezembro de 1810
- “Todos jovens e enérgicos, peritos em metalurgia sueca. São acompanhados de um chefe C. G. Hedberg [...]. Trouxe todos os instrumentos e aparelhos necessários, tais como foles, rodas e martelos-pilões com todos os acessórios fabricados na Suécia [...]. A natureza fornece tudo para que esta emprêsa seja benéfica ao país e extremamente nociva à metalurgia sueca. Assim a chegada dêstes compatriotas magoou-me profundamente.”

Gestão sueca foi criticada

- Foi muito difícil. O Conselho de Administração cobrava a construção do alto forno e o diretor se negava a construir, dizendo ser preferível ter fornos pequenos;
- “A vantagem de não precisar por neles nem cal nem fundentes, os quais **se fazem precisos nos fornos altos**”.
- Segurança: “ neste clima [os altos-fornos] dariam um calor tal que os operários não lhe pudessem resistir.”

A gestão alemã

- Derrubado o sueco, entre 1815 e 1818, o novo diretor alemão decidiu construir dois altos fornos, seguindo o modelo da Fábrica de Foz d'Alge, Portugal.
- A história da construção e operação ficaram bem descritas em cartas que o director escrevia para um colega em Minas Gerais, que juntou isso em um livro.

O diretor Varnhagen fez um diário



Diário da primeira campanha foi publicado por Eschwege, em 1833, dentro de livro sobre as riquezas do Brasil.

Traduzido em 1944 por Domício F. Murta

P L U T O **B R A S I L I E N S I S.**

Eine Reihe von Abhandlungen über Brasiliens Gold-, Diamanten- und anderen mineralischen Reichthum, über die Geschichte seiner Entdeckung, über das Vorkommen seiner Lagerstätten, des Betriebs, der Ausbeute und die darauf bezügliche Gesetzgebung u. s. w.

v o n

W. L. VON ESCHWEGE,

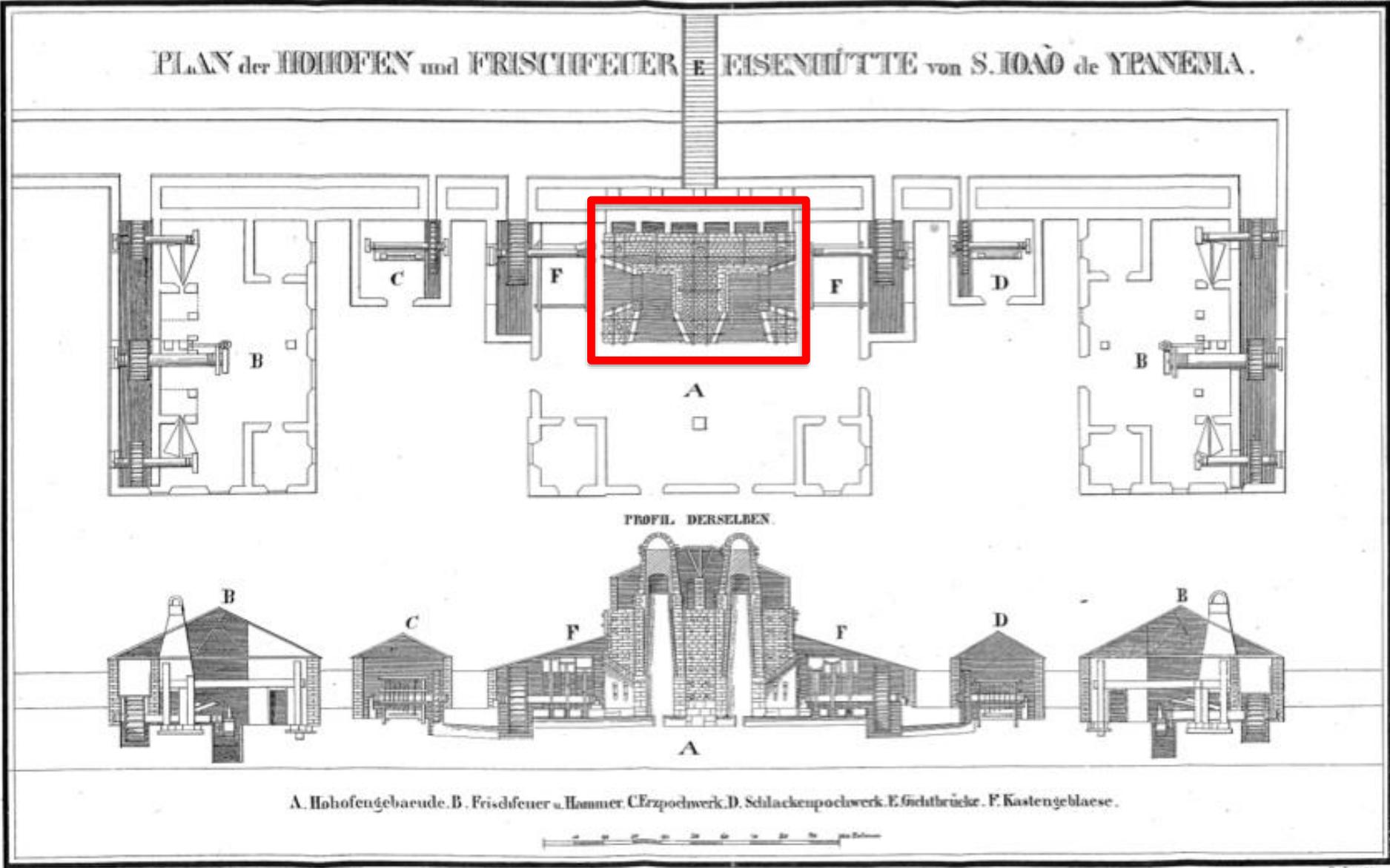
Königl. Portugies. Ingenieur - Oberst und Oberberghauptmann u. s. w.

Coronel dos Reais Engenheiros de Portugal e
Intendente Geral das Minas etc

Projeto da Fábrica feito pelo eng. Varnhagen em 1817

TAF. VIII.

PLAN der HOHOFEN und FRISCHFEUER EISENHÜTTE von S. JOÃO de YEANENIA.



PROFIL. DERSELBEN.

A. Hohofengebäude. B. Frischfeuer u. Hammer. C. Erzpodwerk. D. Schlackenpodwerk. E. Gichtbrücke. F. Kastengebläse.



Fábrica de Ferro de Ipanema



Edmund Pink, 1823

Built with public and private investments, initially under the direction of the swede C. Hedberg (1810-1814) and of the german L.F. Varnhagen (1814-1821). Operated, with interruptions, until 1926.

carta de 07/11/1818

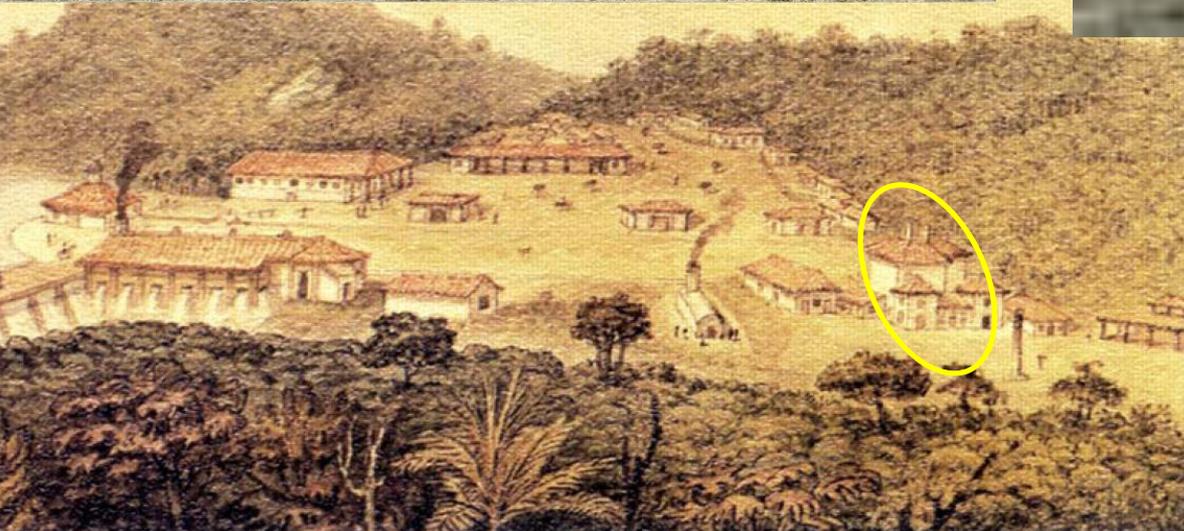
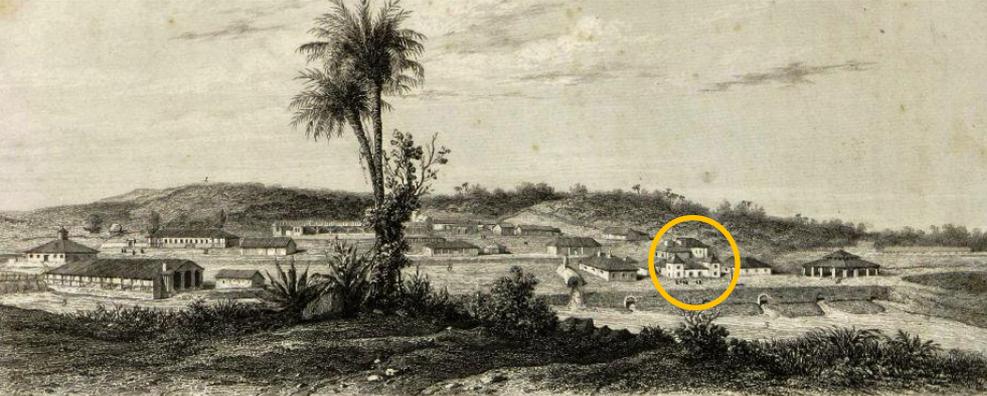


Trecho da carta do engenheiro Varnhagen, diretor da FFI, para o engenheiro Eschwege, diretor da Fábrica Patriótica:

- “ Escrevo apressadamente para informar-lhe que a 3 de outubro comecei a secar um dos fornos. ...
- **No dia 1º de novembro teve lugar a primeira corrida. Fiz tudo quanto se usa fazer em Portugal, obtendo sucessos idênticos.**
- ... Trabalho com dois ferreiros suecos, o mestre carpinteiro e alguns negros. Tudo correu bem, e o refratário de arenito fresco é o melhor que tenho visto.
- ... Estou fundindo cintas para o eixo do malho, malhos, bigornas, etc.”



Os AF gêmeos de Ipanema



Anotações muito cuidadosas



Tabela da 2ª semana

Gichttafel der 2ten Woche.

cargas

| Day | Diagram | Weight | Notes |
|----------------|--|--------|-------|
| Dom. Sonntag | <div style="text-align: center;">+ 6 Maas.</div> | 22 | Gicht |
| 2af Montag | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 6 + 5½ 5 5½ + </div> | 24 | - |
| 3af Dienstag | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 5½ + 6 ++ 5 + </div> | 22 | - |
| 4af Mittwoch | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 5 + + + 6 + </div> | 19 | - |
| 5af Donnerstag | <div style="text-align: center;">+ + 6</div> | 15 | - |
| 6af Freitag | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> + + 6 + 7 + </div> | 19 | - |
| sáb Sonnab. | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 7 + + 8 </div> | 17 | - |
| | | 138 | Gicht |

Cada risco é uma carga.
O número é o peso da carga.

A cruz marca quando fez vazamento.

! Passou a 2 cestos carvão 2 cestos cavaco por carga. *“Como a fusão seguisse com marcha irregular, na 5ª f voltou-se a carregar 3 cestos de cavaco para um cesto de carvão.”*

Uso de cavaco e carvão



É surpreendente o uso de cavaco de lenha mais carvão. Isso não era prática comum na Europa.

Não sabemos o motivo, mas Eschwege e Varnhagen usaram cavacos na operação de um alto-forno em Portugal, entre 1803 e 1807.

Varnhagen menciona a dificuldade de obter carvão, apesar de muitos esforços.

“com 3 partes de cavacos e uma de carvão, em volume, a fusão sempre se fez regularmente. Melhor seria se fosse só com lenha. Apenas com auxílio do carvão local, dificilmente se conseguirá uma fusão”

Primeira campanha

- Foram 9 semanas de operação.
- A cada semana ele comenta sobre o tipo de ferro obtido, no começo só “gusa branco”, depois ele conseguiu “ferro cinzento” para fundição; comenta sobre a escória, sobre o ajuste do número de golpes por minuto da máquina soprante.
- ***“o minério deve ser pulverizado e ustulado e, após, exposto ao ar durante 6 semanas, pelo menos. Ele não deve ultrapassar dois quintos da carga.”***
- A cada semana, informa quanto consumiu de cavaco, de carvão e da mistura minério mais fundente, mas não informava a produção de gusa. No total produziu 3200 arrobas de gusa, ou seja, 48 toneladas, ou seja, 860kg gusa por dia.
- A campanha foi interrompida, pois Varnhagen ficou doente.

As expectativas de Varnhagen



“Meu plano principal é a produção de cerca de 4.000 centner anuais de ferro em barras, quantidade esta que, anualmente, entra em São Paulo, onde, e nas províncias vizinhas, é toda consumida (527). O restante será transformado em armas, chapas, etc., cuja venda produz 50 % de lucro”.

4000 * 50kg = 200 t por ano

A visão sobre a mão de obra



“Propús transformar esta fábrica em fonte de abastecimento das províncias fronteiriças, e estabelecer uma Companhia de Soldados Artífices, sem a qual seria preciso mandar vir estrangeiros. Por outro lado, evitaria a inconstância dos naturais em matéria de serviço, motivo pelo qual nunca aprendem cousa alguma (528)”.

Soldados x estrangeiros x “naturais”

A importância dos engenhos de açúcar



“Os objetos de ferro fundido encontrarão grande colocação, sobretudo nos estabelecimentos açucareiros, muito numerosos em um raio de 10 léguas da fábrica, os quais adquirirão grande quantidade de caldeiras, tachos, cilindros e mesmo máquinas completas, para substituir as de madeira, que ainda usam (529)”

O quadrilátero do açúcar na primeira metade do XIX:
Jundiaí, Mogi Mirim, Piracicaba e Sorocaba

Variáveis descritas por Varnhagen em



cada uma das 29 semanas de operação

| Variáveis da carga | rítmo |
|--|--|
| Número de cargas do AF na semana | de 10 a 14 por dia |
| Número de cestos de lenha na semana | Sempre 3 de lenha para um de carvão |
| Número de cestos de carvão na semana | |
| Massa de minério + fundentes nas semana | Corresponde a 2,7ton (min+fund) / ton gusa |
| Proporção da carga: | Minério, diorito, cal, escória de AF, escória de refino, areia |
| Número de golpes da máquina de soprar por minuto | |
| Variáveis do produto | |
| Número de corridas de gusa por semana | Na média 2 corridas por dia |
| Massa de gusa por semana | na média 950kg/dia |
| Cor da fratura do gusa: | Branco, meio branco, cinzento claro, escuro e meio preto |
| “qualidade” da escória: | “vitrificada e fluida” ou “curta e dura”. |

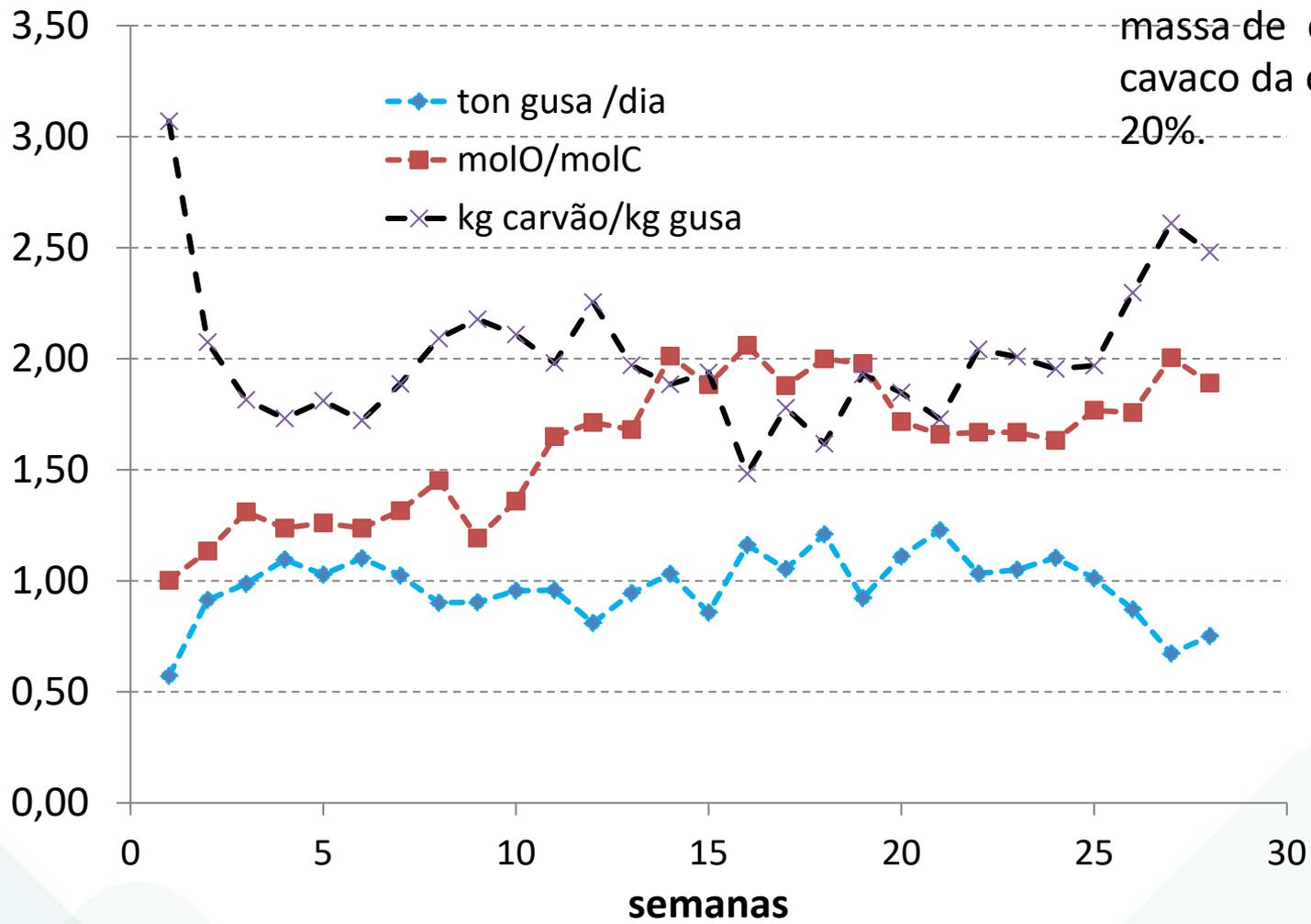
Tabela da 2ª campanha 1819

Tabela da marcha do 2º alto-forno da real fábrica de ferro de São João do Ipanema, na Capitania de São Paulo, quando este trabalhou pela primeira vez. Esta Companhia foi começada no dia 16 de maio de 1819 e terminada no dia 1º de dezembro de 1819, sob a direção do Tenente Coronel do Real Corpo de Engenheiros e Diretor Geral F. Q. W. Varnhagen

| Semanas | Cargas na Semana | Número das Corridas | Cestos de Lenha | Cestos de Carvão | Minério e Fundentes | Guza Produzido | Cor do Ferro Guza | PROPORÇÃO DA CARGA COM MEDIDAS | | | | | | Qualidade da Escória | Golpes da Máquina de Soprar por Minuto |
|----------------|------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|----------------|-------------------|--------------------------------|---------|-----|------------------------|--------------------|-------|------------------------|--|
| | | | | | | | | Minério | Diorito | Cal | Escórias do Alto-Forno | Escórias de Refino | Areia | | |
| | | | | | Arr. | Arr. | | | | | | | | | |
| 1 | 149 | 7 | 447 | 149 | 946 | 267 | cinzento claro | 12 | 10 | 8 | 4 | 2 | — | vitrificada e fluída | 4½ |
| 2 | 161 | 9 | 483 | 161 | 1256 | 426¾ | meio preto | 12 | 8 | 8 | 4 | 2 | 2 | dº | 5½ |
| 3 | 152 | 12 | 456 | 152 | 1201 | 460½ | branco | 12 | 8 | 6 | 6 | 2 | 2 | bast. fluída-vitrif. | 6 |
| 4 | 161 | 14 | 483 | 161 | 1328¼ | 511½ | cinzento claro | 12 | 8 | 6 | 6 | 2 | 2 | vitrif. e muito fluída | 6 |
| 5 | 158 | 13 | 474 | 158 | 1278 | 480 | meio branco | 12 | 6 | 6 | 6 | 4 | 2 | fluída | 6 |
| 6 | 161 | 14 | 483 | 161 | 1329 | 514¼ | dº | 12 | 6 | 4 | 8 | 4 | 2 | curta e dura | 6 |
| 7 | 164 | 14 | 492 | 164 | 1353 | 478 | dº | 12 | 6 | 5 | 7 | 4 | 2 | fluída e vitrificada | 6½ |
| 8 | 160 | 17 | 480 | 160 | 1377 | 420¾ | dº | 12 | 6 | 6 | 6 | 4 | 2 | curta e dura | 7 |
| 9 | 167 | 13 | 501 | 167 | 1529 | 421¾ | branco | 12 | 6 | 6 | 6 | 4 | 2 | fluída e vitrificada | 6 |
| 10 | 171 | 11 | 513 | 171 | 1528¾ | 446 | dº | 12 | 8 | 6 | 6 | 2 | 2 | escura e vitrificada | 7 |
| 11 | 161 | 12 | 483 | 161 | 1488½ | 447 | cinzento claro | 12 | 6 | 6 | 6 | 4 | 2 | dura e curta | 8 |
| 12 | 155 | 15 | 465 | 155 | 1351¾ | 378 | escuro | 12 | 7 | 7 | 3 | 2 | 2 | dº | 8 |
| 13 | 158 | 18 | 474 | 158 | 1258 | 441 | cinzento claro | 12 | 7 | 7 | 3 | 3 | 1 | dº | 8 |
| 14 | 165 | 13 | 495 | 165 | 1341¾ | 481½ | dº | 12 | 7 | 7 | 3 | 3 | 1 | fluída e vitrificada | 10 |
| 15 | 141 | 11 | 423 | 141 | 1163¾ | 400 | branco | 12 | 7 | 7 | — | 3 | 1 | dº | 8 |
| 16 | 157 | 13 | 411 | 157 | 1311¾ | 542 | dº | 12 | 7 | 7 | — | 3 | 1 | dº | 9 |
| 17 | 159 | 16 | 477 | 159 | 1295¼ | 491½ | cinzento claro | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 18 | 166 | 17 | 498 | 166 | 1369½ | 564½ | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 10 |
| 19 | 151 | 15 | 453 | 151 | 1056 | 430¾ | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 20 | 174 | 14 | 522 | 174 | 1196¼ | 518 | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 21 | 180 | 14 | 540 | 180 | 1235½ | 573 | branco | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 22 | 179 | 14 | 537 | 179 | 1230½ | 482 | cinzento claro | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 23 | 179 | 14 | 537 | 179 | 1230½ | 490 | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 24 | 183 | 14 | 549 | 183 | 1258 | 515 | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 25 | 169 | 14 | 507 | 169 | 1162 | 472 | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 26 | 170 | 14 | 510 | 170 | 1168¾ | 407 | dº | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| 27 | 149 | 14 | 447 | 149 | 895¼ | 314 | preto | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | curta e dura | 9 |
| 28 | 158 | 12 | 474 | 158 | 869 | 350½ | meio preto | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | fluída e vitrificada | 9 |
| 29 | 46 | 5 | 138 | 46 | 284¼ | 129 | cinzento claro | 12 | 7 | 7 | — | 4 | 2 | dº | 9 |
| Total. | | | 13812 | 4504 | 35280½ | 12853½ | | | | | | | | | |

Algumas ilações tiradas da tabela

A massa de carvão foi calculada supondo massa de carvão por cavaco da ordem de 20%.



Consumo de carvão



- O consumo de tonelada de carvão por tonelada de gusa já era um indicador importantíssimo. Hassenfratz, autor do livro mais importante do início do XIX (publicado em 1812) mostra tabela com essa fração para dezenas de altos fornos.
- Pela tabela se vê que era comum ter fração de $130/100$, e até alguns com $95/100$.

Tabela do Hassenfratz, 1812

208

L'ART DE FABRIQUER LE FER.

TABLEAU des Consommations et des Produits de vingt-cinq hauts fourneaux de Styrie et de Carinthie.

nome altura largura consumo produção

| NOMS des FOURNEAUX. | HAUTEUR DES FOURNEAUX | | | LARGEUR | | CONSOMMATION | | POIDS | |
|---|--------------------------|------------------|-----------------------|---------------|----------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|---------------------------|
| | TOTAL. | de la charge. | du grand foyer. | du ventre. | du guen- lard. | d'air en | de char- bon pour | de fonte | de fonte |
| | | | | | | une minute. | 100 liv. de fonte. | p.100L de minéral. | dans les 24 heures. |
| CARINTHIE. | | | | | | | | | |
| 1. Des terres de la famille de Rauscher..... | P. ° | P. ° | P. ° | po. | po. | Pied cub | Liv. | Liv. | Quint. |
| 2..... <i>Idem</i> | 18... | 9... | 9... | 45.. | 17.. | 400... | 138... | 43... | 51. |
| 3..... <i>Idem</i> | 18... | 9... | 9... | 45.. | 17.. | 500... | 137... | 42... | 52. |
| 4..... <i>Idem</i> | 18... | 9... | 9... | 45.. | 17.. | 500... | 128... | 43... | 56. |
| 5..... <i>Idem</i> | 20... | 10... | 10... | 45.. | 17.. | 600... | 117... | 43... | 63. |
| 6..... <i>Idem</i> | 20... | 10... | 10... | 45.. | 17.. | | 110... | 42... | 64. |
| 7..... <i>Idem</i> | 24... | 14... | 10... | 46.. | 17.. | | 106... | 42... | 67. |
| 8..... <i>Idem</i> | 24... | 14... | 10... | 48.. | 17.. | | 95... | 45... | 71. |
| 9..... <i>Idem</i> | 30... | 20... | 10... | 48.. | 20.. | 650... | 95... | 47... | 75. |
| 10. De Saint-Léonard..... | 29, 5 | 20... | 9, 5 | 48.. | 23.. | 550... | 131... | 47... | 86. |
| 11. De Saint-Gertrude..... | 20, 9 | 10, 6 | 9, 6 | 48.. | 18.. | | 260... | 37... | 31. |
| 12. De Sainte-Gertrude .. | 20, 6 | 10, 3 | 9, 9 | 46.. | 18.. | | 209... | 45... | 35. |

Na tradução francesa do livro de John Percy, o tradutor comenta a situação da França e considera típico, em 1858, uma fração de 130/100 de carvão por gusa

benchmarking

Comparando o alto-forno de Mossinz, um daqueles da tabela de Hassenfratz, com os números da Fábrica de Ferro de Ipanema

| | Unidade | Mossinz | FFI |
|---------------------------------------|------------------|---------|-------|
| Altura do AF | Pés | 27 | 25 |
| Consumo de ar por minuto | Pés cúbicos/min | 700 | 360 ? |
| Consumo de carvão por libra de gusa | Lb/100 lb | 150 | 200 |
| Produção de gusa por libra de minério | Lb/100 lb | 52 | 69 |
| Produção de gusa por dia | Quintais por dia | 79 | 20? |

Salta a vista a baixa produção da FFI e o excesso de consumo de carvão.

Existem dúvidas sobre a metodologia de cálculo, feita por nós, relativo à Fábrica de Ipanema.

1 quintal = 50kg?

9 golpes por minuto dão 360 pés por minuto?

- Causa surpresa que nem Varnhagen nem Eschwege sequer mencionem a fração de carvão por quantidade de gusa produzido, ainda mais que o custo do carvão era parâmetro crítico para o custo do metal.
- É interessante notar que o consumo de carvão por tonelada de gusa, que era de 1000kg por tonelada nas melhores usinas europeias da época, caiu para 630kg por tonelada nos dias de hoje, na Aperam, talvez a melhor siderúrgica a carvão vegetal do mundo.

Custos e preços



- Varnhagen apresenta detalhes de seus custos:
 - minério, posto na fábrica: 8 réis a arroba
 - Calcareao para fundente: 25 réis a arroba
 - Carvão: 50 réis a arroba

 - Varnhagen estima o valor de seu gusa em estoque por 1.080 réis a arroba
 - Como referência, naquele momento o ferro sueco era vendido nos portos a 1.400 réis a arroba, segundo Eschwege.

Comentários finais



- A leitura da correspondência de Varnhagen nos mostra que um engenheiro metalurgista de 1818 já se preocupava com manter detalhado registro da operação do alto-forno e buscava otimizar seu processo usando variáveis semelhantes às que usamos hoje.
- Por outro lado é preciso investigar mais para entender certos procedimentos:
 - o uso de cavaco de madeira em vez de carvão
 - A necessidade de ustulação do minério
 - A aparentemente excessiva proporção de fundentes
 - O não uso do indicador massa de carvão por massa de gusa

Altos Fornos Gêmeos da Fábrica de Ferro de Ipanema



Maquete da Fábrica de Varnhagen

