



**CRIATIVIDADE TECNOLÓGICA
NA
ENGENHARIA DE PROCESSOS INORGÂNICOS**

ABRAHAM ZAKON

**Prof. Associado
Eng^o Químico, M. Sc., D. Eng.**

**Laboratório de Cimentos e Cerâmicos
Departamento de Processos Inorgânicos
Escola de Química - Centro de Tecnologia
Universidade Federal do Rio de Janeiro**



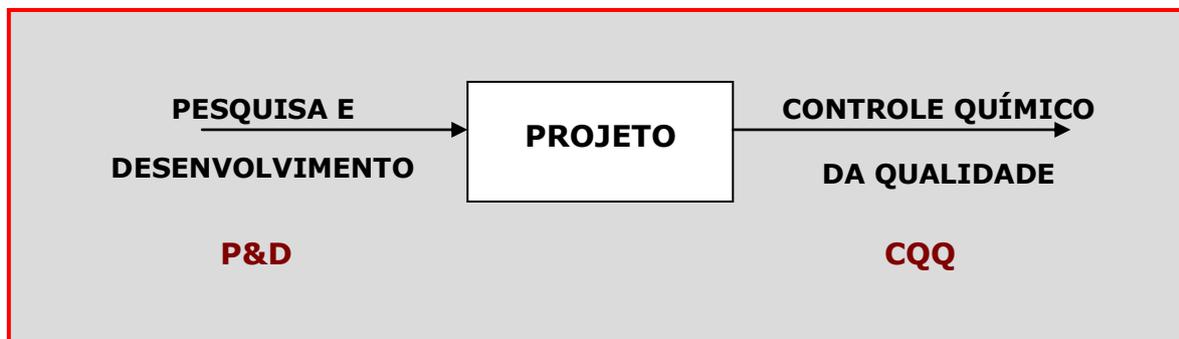
Arequipa - Outubro de 2008

PARTE 3.0

CQQ E P&D EM PROCESSOS INORGÂNICOS

PREMISSAS BÁSICAS

PARA A CRIATIVIDADE TECNOLÓGICA QUÍMICA



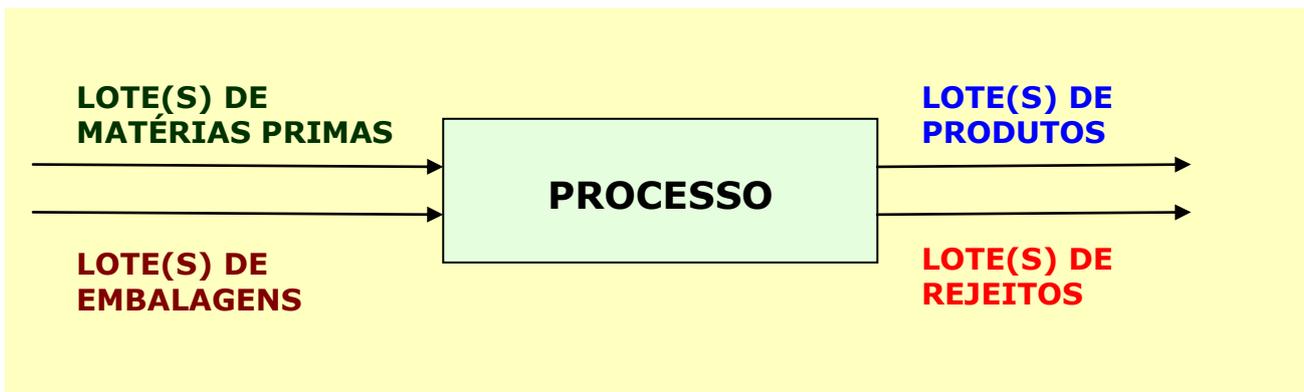
OS APARATOS LABORATORIAIS DE ANÁLISES QUÍMICAS, DETERMINAÇÕES FÍSICAS E ENSAIOS DE DESEMPENHO PARA CQQ INDUSTRIAL SÃO VÁLIDOS PARA P&D CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO.

CRITÉRIOS E RECURSOS DE ESPECIFICAÇÕES E PROJETOS PARA CQQ INDUSTRIAL SÃO VÁLIDOS PARA P&D CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO.

EXPERIÊNCIA FABRIL E DE PROJETOS SÃO VÁLIDOS PARA P&D CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO.

INFORMAÇÕES DE OPERADORES SOBRE O COMPORTAMENTO DE EQUIPAMENTOS SÃO ÚTEIS PARA APERFEIÇOAR PROCESSOS.

FOCOS DO CONTROLE QUÍMICO DA QUALIDADE INDUSTRIAL



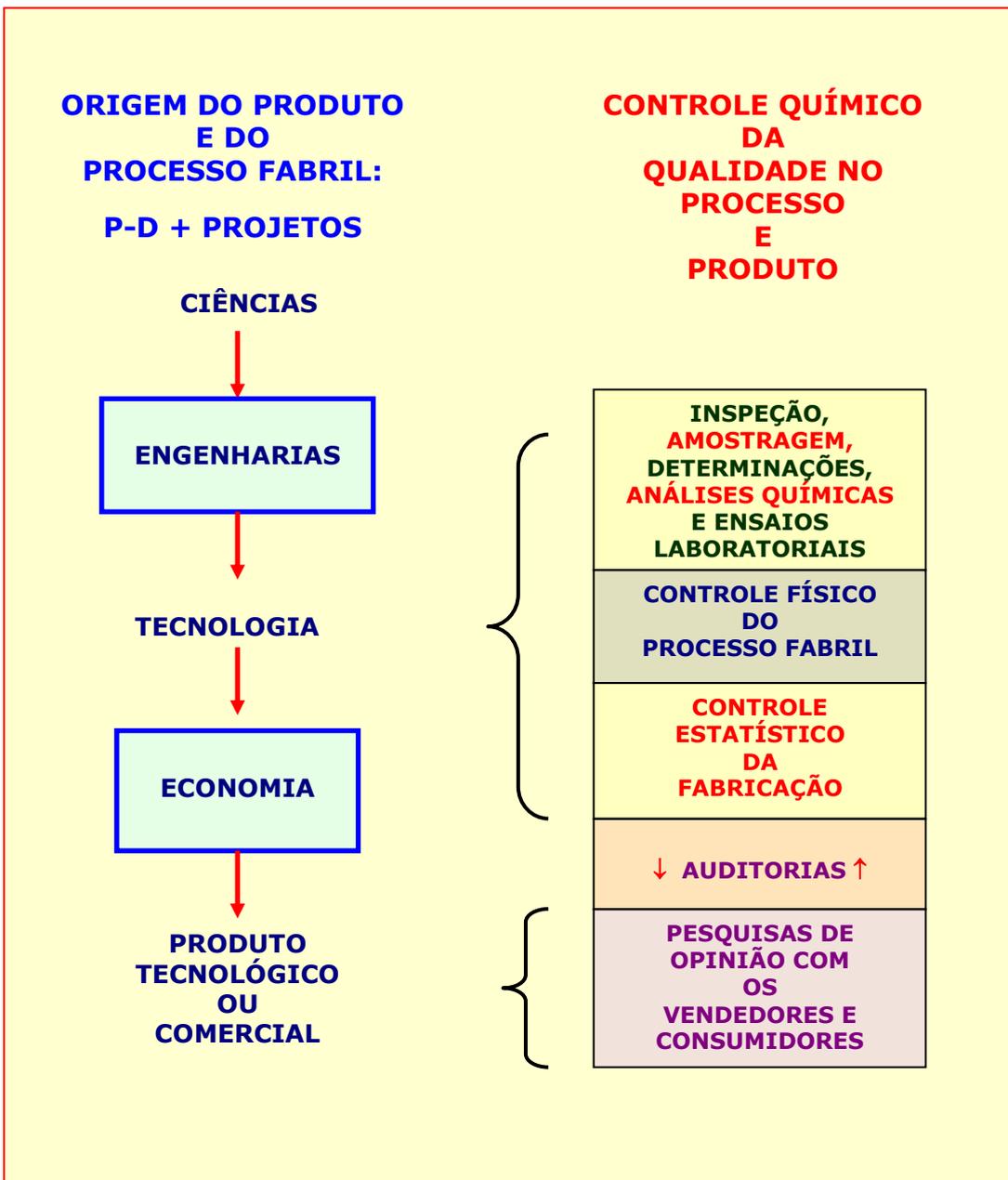
FOCOS DO CONTROLE FÍSICO DE PROCESSO INDUSTRIAL

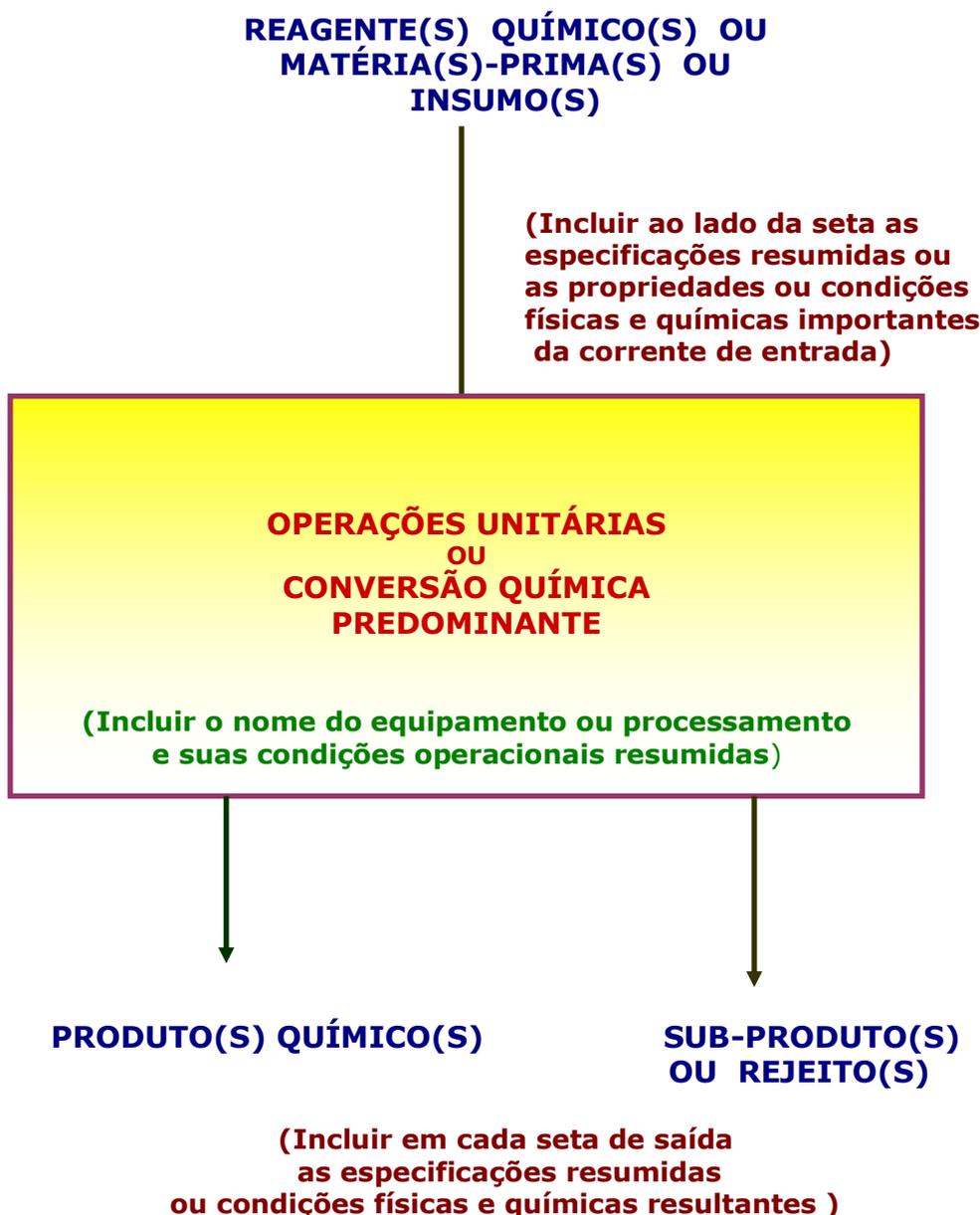
- ◆ O **TEMPO** É A PRINCIPAL VARIÁVEL DE PROCESSO.
- ◆ RELACIONA AS **VARIÁVEIS OPERACIONAIS** COM O TEMPO.
- ◆ UTILIZA **SISTEMAS DE CONTROLE**,
CONTENDO **SENSORES, MEDIDORES, CONVERSORES,**
MOSTRADORES E INDICADORES DIGITAIS OU ANALÓGICOS
LOCALIZADOS NO PRÓPRIO EQUIPAMENTO,
E EM PAINÉIS ANALÓGICOS OU COMPUTACIONAIS.
CUJOS TIPOS BÁSICOS SÃO:
 - ◆◆ **RETROALIMENTADOS** OU REALIMENTADOS (**FEED-BACK**) E
 - ◆◆ **DE ALIMENTAÇÃO ANTECIPADA** (**FEED-FORWARD**).

FOCOS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DA QUALIDADE

- COLETAR AMOSTRAS DOS LOTES DE PRODUÇÃO E DESCARTES.
- USA DADOS DO FLUXO DE MATERIAIS, FLUIDOS E DE REJEITOS.
- USA MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA REJEITAR OU ACEITAR LOTES.

O ÂMBITO DA GARANTIA DA QUALIDADE DE UM PRODUTO QUÍMICO





OBSERVAÇÕES:

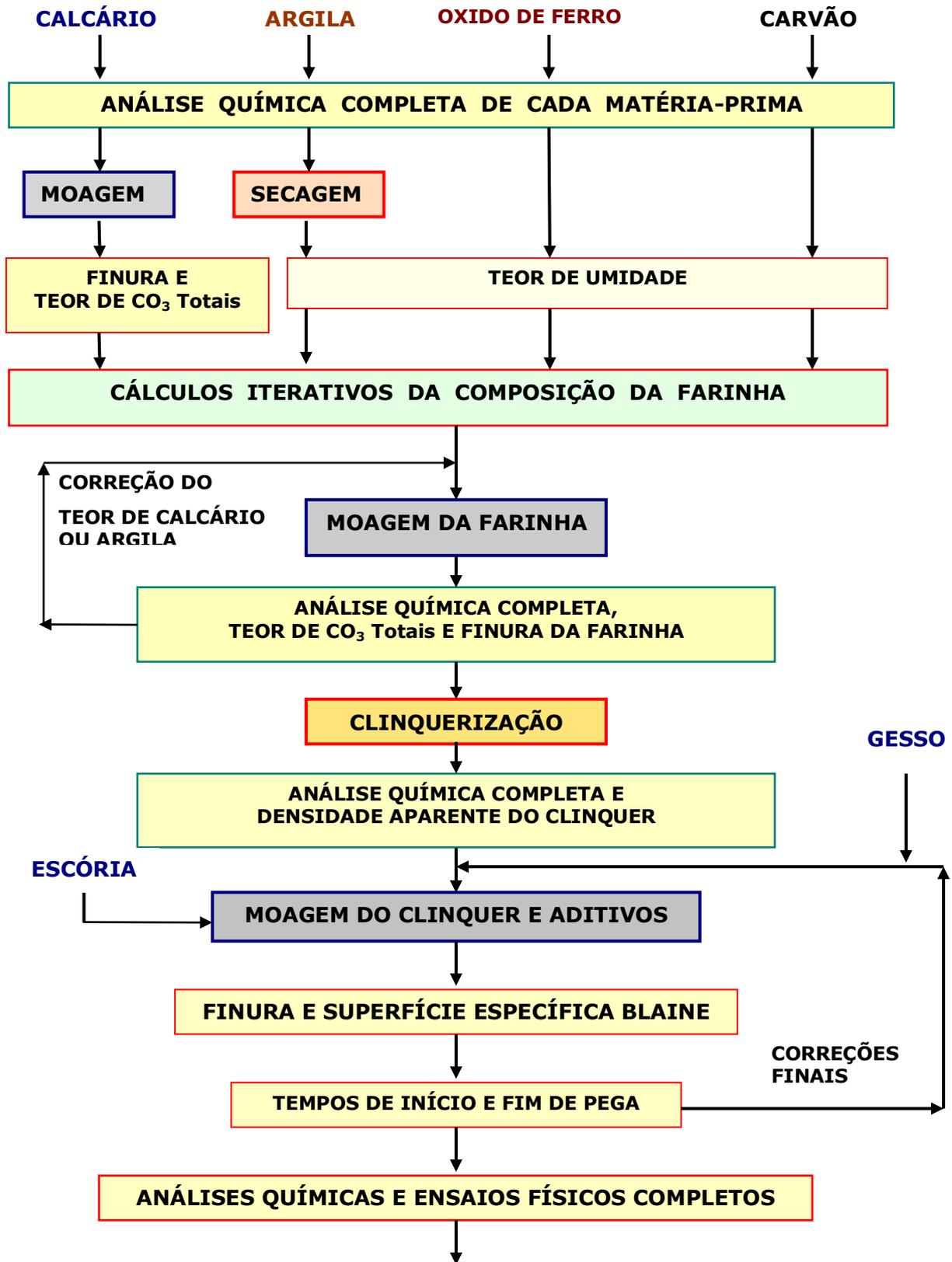
1. Palavras e expressões como “propriedades” “especificações”, “características tecnológicas”, e “condições físicas, químicas, biológicas, mineralógicas” - que podem ser incluídas numa figura - são equivalentes.

2. ESPECIFICAÇÕES MÍNIMAS PARA REAGENTES E PRODUTOS

SÓLIDOS:	LÍQUIDOS	GASES
dp = diâmetro de partícula típico d = densidade ou massa específica D = dureza % de pureza ou concentração	d = densidade ou massa específica v = viscosidade % de pureza ou concentração pH	T = temperatura P = pressão de operação % de pureza ou concentração e = coeficiente de expansividade

SEQUÊNCIA DOS CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS E DO CONTROLE DA QUALIDADE NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND COMUM

(Cimento Irajá Ltda., 1983)



CRONOGRAMA BÁSICO DE CQQ DA FABRICAÇÃO DE CIMENTO PORTLAND COMUM

(Fernandes, 1982)

MATÉRIAS-PRIMAS	DETERMINAÇÕES E ENSAIOS	FREQUÊNCIAS
CALCÁRIO	teor de carbonatos totais análise química completa	durante a britagem semanal
ARGILA	teor de umidade, areia livre, plasticidade e análise química completa	quinzenal
MINÉRIO DE FERRO	teor de óxido de ferro, Fe_2O_3	por lote
GESSO	água de hidratação, $CaSO_4$	por lote
ESCÓRIA	análise química completa	(quinzenal)
INSUMOS	DETERMINAÇÕES E ENSAIOS	FREQUÊNCIAS
CARVÕES VEGETAL E MINERAL	Análise Elementar: umidade, cinzas, matéria-volátil e carbono fixo	por lote
ÓLEO COMBUSTÍVEL	densidade	por caminhão
PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS	DETERMINAÇÕES E ENSAIOS	FREQUÊNCIAS
FARINHA	teor de carbonatos totais, finura em malha 200 e análise química completa	diariamente
CLINQUER	cal livre (CaO), densidade aparente e análise química completa	diariamente
PRODUTO FINAL	DETERMINAÇÕES E ENSAIOS	FREQUÊNCIAS
CIMENTO PORTLAND COMUM	finura, superfície específica blaine, densidade aparente, tempos de início e fim de pega, expansividade térmica a frio e a quente, resistência à compressão, cal livre (CaO), análise química completa	diariamente

CRONOGRAMA SEMANAL BÁSICO
DO
CONTROLE QUÍMICO DA QUALIDADE
EM
INDÚSTRIAS DE PROCESSAMENTO CONTÍNUO
(CERÂMICA, VIDREIRA, CIMENTEIRA)

ATIVIDADES	DOMINGO			SEGUNDA			TERÇA			QUARTA			QUINTA			SEXTA			SÁBADO			
	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	M	T	N	
COLETA DE AMOSTRAS matéria-prima 1 matéria-prima 2 embalagem a embalagem b produto x produto y																						
ANÁLISES QUÍMICAS dos itens abaixo nas amostras acima: perda ao fogo CaO SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ umidade																						
ENSAIOS DE DESEMPENHO dos itens abaixo nas amostras acima: resistência mecânica refratariedade ou ponto de fusão poder calorífico, etc.																						

M – MANHÃ, T- TARDE, N - NOITE

**UM CRONOGRAMA É UMA LISTA OU UM DIAGRAMA DE ATIVIDADES
ELABORADO DE ACORDO COM UM CALENDÁRIO.**

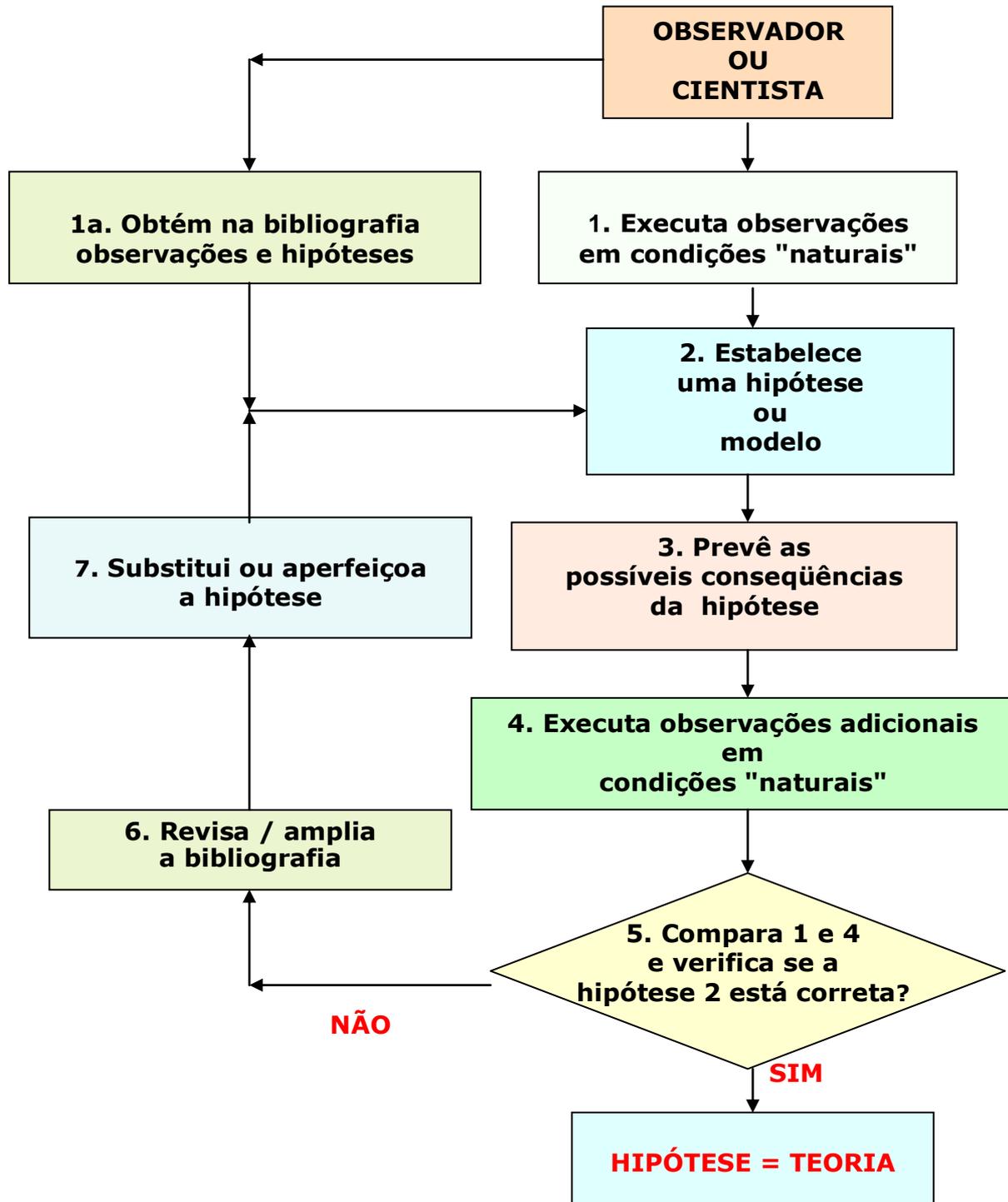
EXEMPLO:

**CRONOGRAMA FÍSICO BÁSICO
PARA
EXECUÇÃO DE UMA PESQUISA EXPERIMENTAL**

ATIVIDADES	MESES, TRIMESTRES, SEMESTRES, ANOS													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
RECEPÇÃO DE AMOSTRAS	=====													
BENEFICIAMENTO FÍSICO	=====													
TRATAMENTO QUÍMICO	=====													
PURIFICAÇÃO	=====													
ANÁLISES QUÍMICAS	=====													
ENSAIOS DE DESEMPENHO	=====													
EMISSÃO DE RELATÓRIOS	=====													

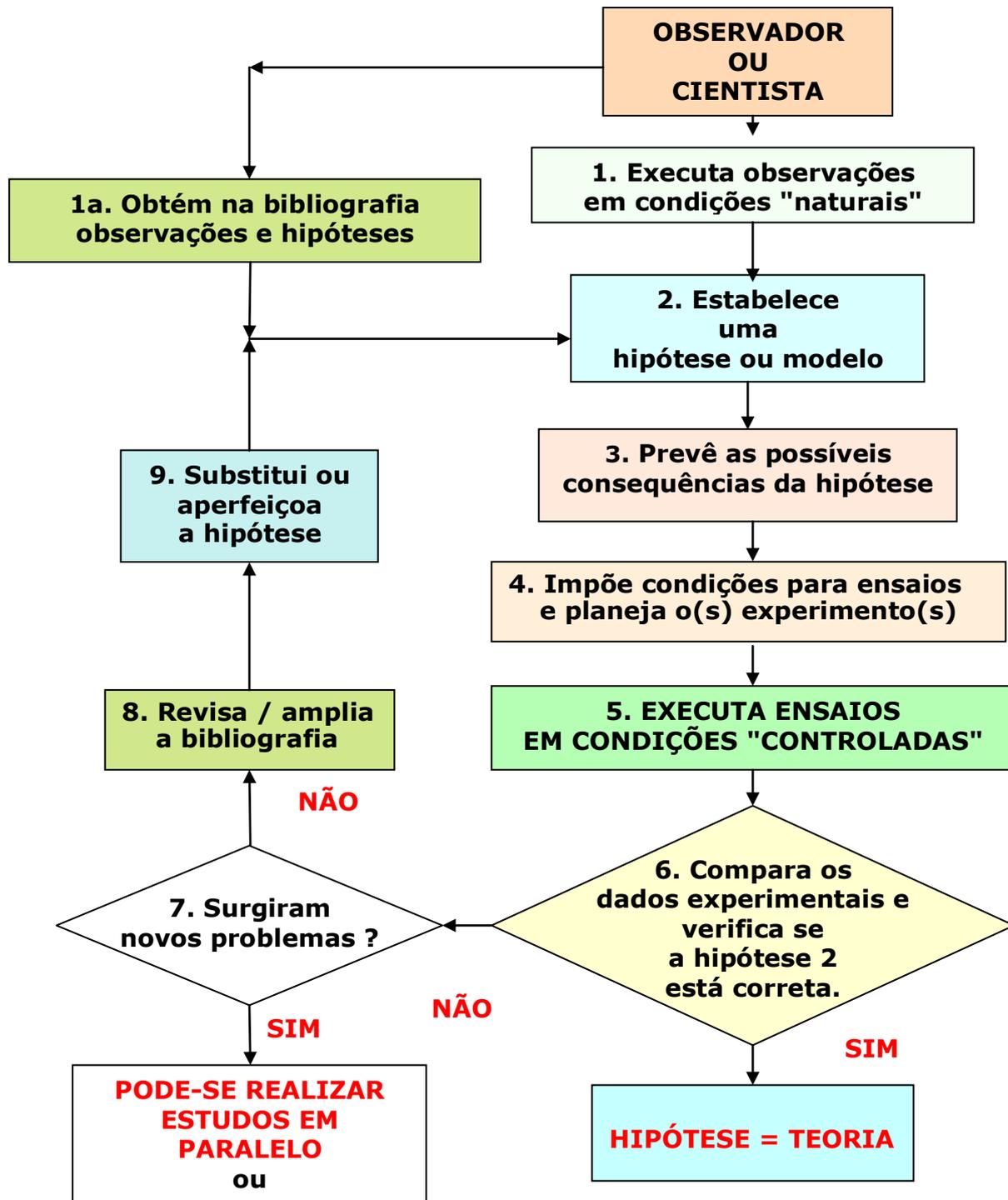
Procedimentos da ciência não-experimental

(adaptado de Heath, 1981)



Procedimentos da ciência experimental

(adaptado de Heath, 1981)



TIPOS GERAIS DE LABORATÓRIOS E SUAS FINALIDADES

(Lewis, 1962; Silva Neto,1981; Richa,1983)

LABORATÓRIOS DE ENSINO:

- **DEMONSTRATIVO** empregado em aulas experimentais ou teóricas;
- **DE VERIFICAÇÃO** utilizado em aulas experimentais;
- **DE PESQUISA** usado por docentes, estudantes de pós-graduação e iniciação científica mais pessoal de apoio.

LABORATÓRIOS INDUSTRIAIS PARA:

- **Controle químico da qualidade de** matérias-primas, insumos, utilidades, produtos intermediários e finais, artefatos, e embalagens;
- **P e D:** Otimização de processos cativos
Criação e avaliação de novos produtos.

CENTRO DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

- Para criar novos processos químicos, substâncias, equipamentos industriais, instrumentos de controle, aparelhos laboratoriais e novos métodos, análises químicas, biológicas, ambientais, ensaios destrutivos e não destrutivos, e otimizar processos.
Exemplos: CENPES, CETEM, INT, IPT.

LABORATÓRIO DE CONTROLE PÚBLICO DE PRODUTOS

- Usa análises químicas, biológicas e de risco, determinações físicas, e ensaios de desempenho para emitir laudos técnicos de caráter comercial, ambiental e legal.

LABORATÓRIO DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

- Executa análises e emitir laudos técnicos de caráter comercial/legal.

LABORATÓRIO DE PESQUISA MINERAL

- Executa a cubagem e mapeamento dos recursos minerais de uma jazida.
Exemplo: LAMIN/CPRM

RECURSOS LABORATORIAIS BÁSICOS PARA TECNOLOGIAS INORGÂNICAS

(Lewis, 1962)

OBJETIVOS INTEGRADOS: Decomposições e Sínteses de Substâncias,
Execução de Análises Químicas,
Determinações de Propriedades Físico-Químicas e
Ensaio de Desempenho de Materiais, Fluidos e Peças.

- linhas de água, gás, vácuo, ar comprimido
- linhas de eletricidade monofásica, bifásica e trifásica,
- pias com torneiras, ralos e linhas de escoamento de águas,
- destiladores de água e filtros de água,
- bancadas diversas de concreto e uma para colunas trocadoras de íons,
- capelas, capela especial para ácido perclórico, com exaustores industriais,
- compressores e bombas de líquidos e de vácuo móveis,
- refrigeradores e agentes refrigerantes,
- banhos termostáticos, bombas calorimétricas,
- estufas, fornos elétricos (muflados, tubulares e de indução) e a gás,
- registradores e programadores de aquecimentos,
- reatores químicos e autoclaves, cubas eletrolíticas,
- eletroanalísadores,
- retificadores de corrente portáteis, voltímetros e amperímetros,
- salas para isótopos radioativos e contadores de partículas subatômicas,
- espectrofotômetros, polarímetros,
- analisadores térmicos,
- difratômetros de raio-X e laser,
- balanças analíticas e de topo eletrônicas, mecânicas tipo plataforma,
- peneiras com agitadores automáticos,
- separadores pneumáticos e magnéticos de partículas,,
- britadores, moinhos, pulverizadores
- cadinhos e outros materiais cerâmicos, vidrarias diversas,
- prensas e tornos para manutenção e confecção de artefatos,
- mangueiras, tubos, conexões, rolhas, sacos plásticos,
- materiais de limpeza e segurança (luvas, óculos, pás, vassouras)
- chuveiros, lava-olhos, extintores de incêndio de água, gás e pó-químico.

**PROCEDIMENTOS PARA CRIAR
UM FLUXOGRAMA DE PROCESSO QUÍMICO
EM ESCALA PILOTO OU INDUSTRIAL
A PARTIR DE
EXPERIMENTOS DE BANCADA.**

**DENTRE AS ATIVIDADES DE PESQUISA EM ESCALA DE BANCADA,
REGISTRADAS EM ANOTAÇÕES E CADERNOS DIVERSOS,**

LISTAR:

**transformações (sínteses, decomposições, agregações);
determinações e análises;
tipos de registro de dados;
formas de transporte e armazenagem de substâncias em geral
utilidades e facilidades;
pessoal empregado (opcional).**

**DESTACAR: matérias-primas,
conversões químicas essenciais,
operações unitárias,
produtos,
sub-produtos e rejeitos.**

**CONSULTAR a tabela de correspondência, em anexo,
entre escalas de bancada e industrial
para aparelhos, aparatos e acessórios laboratoriais
e equipamentos industriais de pequeno e grande porte.**

**CONSULTAR o "Manual de Engenharia Química (5ª)" para selecionar
o tipo mais adequado para cada etapa do processo industrial.**

ELABORAR um diagrama de blocos preliminar ou básico.

EXEMPLOS DE CORRESPONDÊNCIA ENTRE APARATOS LABORATORIAIS E EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

ATIVIDADE	BANCADA QUÍMICA	PILOTO/INDUSTRIAL
ESTOCAGEM DE GASES, LÍQUIDOS E SÓLIDOS.	Bujões e cilindros metálicos, garrafas e frascos reservatórios, sacos bandejas e caixotes.	Bujões, cilindros, sacos, tambores, cisternas, tanques, reservatórios, caixas d'água, represas, açudes, esferas de gás liquefeito, caminhões e vagões ferroviários, pátios e depósitos cobertos.
TRANSPORTE DE SÓLIDOS	Frascos, sacos, caixotes, bandejas, papel de pesagem, vidro de relógio, pratos, espátulas, colheres e funis.	Caminhões e vagões ferroviários, tratores, navios graneleiros, correias transportadoras, elevadores de caçamba, Transportadores parafuso, vibratórios, osciladores e pneumáticos.
TRANSPORTE E BOMBEAMENTO DE GASES E LÍQUIDOS	Frascos, sacos plásticos, pipetas, conta-gotas, peras de borracha, sucção e sopro humanos, trompa de vácuo, Funis, tubos e mangueiras de vidro, borracha e plástico.	Caminhões e vagões ferroviários, compressores, ventiladores, sopradores, bombas, ejetores, sistemas de vácuo, tubulações de plástico, metais e cerâmicas, mangueiras de borracha e polímeros, canais, adutoras
REDUÇÃO DE TAMANHO DE SÓLIDOS	Marreta (no chão) e martelo, britadores de mandíbula, giratórios, cônicos, rolos, moinhos de facas e martelos, pulverizadores a disco, graal e pistilo.	Britadores, moinhos e pulverizadores
FILTRAÇÃO	Em papel, areia, algodão. por gravidade ou a vácuo.	Tortas e meios filtrantes por gravidade, pressão e vácuo.
QUEIMAS	Bicos e queimadores de gás, fornos elétricos e de gás.	Fornos metalúrgicos, cerâmicos, de vidro, cimento Portland, gesso, cal. Incineradores, retortas e gasificadores.
UTILIDADES	Tomadas elétricas (110 e 220 V), pilhas e baterias elétricas fontes e conversores, estabilizadores e "no-breaks", água potável, filtrada, destilada e deionizada chapas de aquecimento, estufas banho-maria, mantas elétricas ar comprimido direto e vácuo gelo e refrigeradores	Subestações transformadoras de eletricidade, retificadores de corrente alternada, unidades geradoras de energia elétrica, estabilizadores e "no-breaks", sistema de tratamento de água, caldeiras a vapor d'água ou fluido térmico, carvão, óleo combustível, ar comprimido e vácuo via tubos, sistemas de refrigeração, gases industriais para inertização e queimas.
CONTROLE DO PROCESSO	Amostragem, medição e registro manual ou semi-automático em cadernos, folhas soltas, discos e "pen-drives", das composições químicas, propriedades determinadas, operações e imprevistos	Detecção, medição e registro contínuo via sistema de controle automático com uso de instrumentos e computadores. Amostragem pelos inspetores* de qualidade e análises químicas laboratoriais (* amostradores e inspetores são opcionais).

ELEMENTOS BÁSICOS PARA O PROJETO DE UMA PLANTA PILOTO

(Macdonald e Stephens, 1955)

- 1 - alimentação representativa da planta,**
- 2 - localização,**
- 3 - tamanho,**
- 4 - disponibilidade de equipamentos e recursos laboratoriais,**
- 5 - esquemas alternativos para escoamentos de materiais,**
- 6 - espaço para acessórios e utilidades,**

- 7 - balanço material,**
- 8 - balanço térmico,**

- 9 - fluxograma de equipamentos,**
- 10 - layout, plano geral de elevações (cotas),**
- 11 - tubulações,**
- 12 - instrumentação e controle,**

- 13 - capital estimado para custo de produção,**
- 14 - reagentes e produtos químicos,**
- 15 - pessoal de operação,**
- 16 - oficinas de mecânica, elétrica, eletrônica e carpintaria,**
- 17 - segurança do trabalho,**

- 18 - desenhistas e desenhos,**
- 19 - coleção de dados adequados,**
- 20 - computadores e sistemas de comunicação,**

- 21 - coordenação e supervisão,**
- 22 - execução de análises químicas adequadas,**
- 23 - interpretação e relatório dos dados,**
- 24 - ampliação de escala ("scale up") ou transposição dos resultados para escala industrial.**

APLICAÇÕES DE UMA UNIDADE PILOTO

(Macdonald e Stephens, 1955; Johnstone.e Thring, 1957)

**1º - DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO PARA UMA FÁBRICA NÃO EXISTENTE
(PLANTA PILOTO);**

2º - ESTUDO DO PROCESSO DE UMA UNIDADE INDUSTRIAL REAL (MODELO);

**3º - TREINAMENTO DE PESSOAL
(NESTE CASO DEVE SER MONTADA DENTRO DA ÁREA INDUSTRIAL).**

**4º - REAVALIAÇÃO DOS BALANÇOS MATERIAIS E ENERGÉTICOS
E DAS CINÉTICAS DAS REAÇÕES QUÍMICAS.**

CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES PILOTO PARA P&D

PROCESSOS	EQUIPAMENTOS	CONTROLE PRECISO	PRODUTIVIDADE INDUSTRIAL	ESPAÇOS DE INSTALAÇÃO
intermitentes	mais simples e econômicos	não requerem	geralmente baixas	relativamente grandes
contínuos	sofisticados, de projeto e fabricação onerosos	exigem instrumentos e sistemas de controle muito precisos	elevadas	pequenos