

**O ENSINO DE ANTEPROJETOS DE TECNOLOGIAS INORGÂNICAS NA
GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PARTE I - PROCESSO EM ESCALA INDUSTRIAL**

Abraham Zakon,

Prof. Adjunto, Eng. Químico, Dr. Eng.

Laboratório de Compostos Cerâmicos, Departamento de Processos Inorgânicos,
Escola de Química, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ
Telefones: 0XX-21-562-7643 Fax: 562-7567 E-mail: zakon@h2o.eq.ufrj.br

Wilson de Norões Milfont Jr.

Prof. Adjunto, Químico Industrial, Consultor, Mestrando

Departamento de Processos Orgânicos, Escola de Química,
Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
21949-900 Ilha da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ
Telefones: 0XX-21-562-7585 Fax: 562-7567 E-mail: milfont@h2o.eq.ufrj.br

Os exercícios de anteprojetos de processos químicos inorgânicos na escala industrial têm sido executados por alunos de graduação e pós-graduação da EQ-UFRJ incentivando a consulta às enciclopédias de tecnologia química e coleções similares nas bibliotecas. Cada trabalho inclui o seu diagrama de blocos do processo, balanço de massa simplificado e o respectivo sistema de controle da qualidade, apresentados sob forma de memória de cálculo, escrita à mão. Pede-se especificar matérias-primas e equipamentos e incluir referências resumidas em tabelas. A redação sucinta permite visualizar o encadeamento das idéias e dados. Na graduação, os exercícios permitem avaliar a aprendizagem, dispensando-se provas de perguntas e respostas. Os temas são escolhidos ao nível das tecnologias consagradas. Na pós-graduação são escolhidos temas tecnológicos mais recentes, e as avaliações de desempenho incorporam trabalhos de seminários envolvendo a consulta de bases de dados e da Internet. Neste trabalho apresentam-se o roteiro do que se pede e um exemplo completo executado por um mestrando. Tais exercícios são aplicáveis a qualquer especialidade da engenharia, e várias disciplinas podem adaptá-los. Cada exercício é complementado por outro, que visa configurar o respectivo processo na escala laboratorial.

1. ORIGENS DO ENSINO DE ANTEPROJETOS DAS TECNOLOGIAS INORGÂNICAS NA ESCOLA DE QUÍMICA DA UFRJ

Em 1982, o desafio de renovar o ensino de tecnologias inorgânicas enfrentava várias limitações nas aulas teóricas: grande quantidade de informações a transmitir, uso de quadro-negro para os alunos copiarem um universo restrito, emprego de transparências que poderiam cansar os presentes; sistema de provas escritas, em geral sem consulta, trabalhos de seminários em grupo onde nem todos participariam, falta de equipe para cobrar exames orais. As inovações introduzidas na disciplina “Processos Unitários Inorgânicos I”, eram dirigidas para estudantes habituados ao estudo fragmentado das operações unitárias, e seu programa passou a ser introdutório para as demais disciplinas do DPI. Adotou-se vários critérios: (1^o) abolir as provas individuais, tipo papel e lápis; (2^o) oferecer três opções de atividades práticas, que exigissem dos alunos os relatórios técnicos, contendo informações e dados científicos e tecnológicos coletados em bibliotecas e centros de pesquisas e desenvolvimento, cujos resultados fossem apresentados com exposição oral e recursos audiovisuais, seguidos de arguições em grupo ou individuais; (3^o) as opções foram: visitas técnicas, laboratório e projetos; (4^o) reduziu-se o ensino no quadro negro pelo uso de transparências para aumentar a densidade de informações transmitidas por aula e a visão de conjunto de cada processo; (5^o) enfatizou-se o trabalho em laboratório, pois a *engenharia química começa num laboratório de pesquisas e termina no de controle de qualidade* (Zakon, Dweck, Mandarinó e Mascarenhas, 1983).

Os trabalhos da atividade “laboratório tecnológico” nas disciplinas subsequentes “Tecnologia Inorgânica” (que agregava aulas teóricas e práticas) e “Tecnologia Inorgânica Experimental” visavam desenvolver, em escala de bancada, processos inorgânicos industrializáveis, enfocando: perfil de consumo, tecnologia, segurança e higiene industrial, controle ambiental e controle de qualidade. Em 1984, dividiram-se os trabalhos de cada grupo de seis alunos em duas linhas de ação: (1^o) desenvolvimento do processo químico industrial, e, (2^o) desenvolvimento do seu sistema de controle químico da qualidade. A atividade “projeto” visava as etapas envolvidas no planejamento e execução de projetos de unidades industriais de produtos químicos inorgânicos e enfocava os itens: mercado, perfil de consumo, tecnologia, capacidade de produção, segurança e higiene industrial, controle ambiental, controle da qualidade e cronograma de execução do empreendimento. Em 1984, com a criação da disciplina interdepartamental “Projeto”, adotou-se como atividade prática da disciplina obrigatória “Tecnologia de Fertilizantes e seus Insumos” os exercícios de “Cálculos de Processo” (Zakon *et al.* (1983) e Zakon *et al.* (1984)).

A atividade "projeto" permite: (a) formular e pesquisar um novo produto; (b) expandir fisicamente um laboratório quanto uma unidade industrial ou fábrica, (c) adaptar ou desenvolver uma tecnologia nova, e (d) otimizar processos químicos industriais. Na década de 60, no regime seriado da Escola de Química, lecionavam-se exercícios de projeto nas disciplinas de Operações Unitárias, Eletrotécnica, Economia, Processos Unitários Orgânicos, Engenharia Bioquímica e os alunos aprendiam mais e melhor. No regime de créditos e requisitos, permanecia o desafio de lecionar elementos de projeto e engenharia de processo. Os primeiros exercícios de anteprojetos surgiram após 1987, sob a influência do ensino de pós-graduação em “Tecnologia de Argilas” e em “Tecnologia Cerâmica” e do sistema de cobrança de listas de exercícios respondidos de forma manuscrita, aplicados pelo Prof. Dr. Pérsio de Souza Santos no Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo,. Os itens e quesitos dos exercícios de anteprojetos foram expandidos ao longo dos anos, adquirindo a forma da Figura 1. Um exemplo completo do exercício de anteprojetos individual de processo industrial inorgânico é exposto na Figura 2.

2. O PRIMEIRO EXERCÍCIO INDIVIDUAL

<u>ANTE-PROJETO DE PROCESSO QUÍMICO INDUSTRIAL INORGÂNICO PARA EXTRAÇÃO/PRODUÇÃO DO SEGUINTE MATERIAL:</u>	
<i>Quem ouve, esquece. Quem vê, lembra alguma coisa. Quem faz, aprende. (Platão)</i>	
ALUNO(A): _____	DRE _____
TEMA: _____	
<u>1. AS ETAPAS, REAGENTES, PRODUTOS E EQUIPAMENTOS DO PROCESSO</u>	
1.1 - (2,0) - Apresente o diagrama de blocos do processo global, indicando em cada etapa: (a) o tipo de equipamento da operação unitária ou conversão química correspondente, (b) o regime de operação do processo (batelada, batelada alimentada, semi-contínuo ou contínuo), (c) as condições de processamento (resumidas) em cada equipamento, (d) as matérias-primas minerais e/ou insumos, produtos, rejeitos, sub-produtos e suas especificações (resumidas), incluindo os prováveis teores de impurezas, se existirem informações compatíveis (*).	
1.2 - (1,0 ponto) - Apresente em tabelas ou quadros os seguintes dados para fornecimento: (a) as reações químicas características da(s) etapa(s) de conversão química (*); (b) as características tecnológicas originais (dados de AQ's, DF's e ED's) das matérias-primas e insumos disponíveis no mercado <i>em função dos principais equipamentos adotados no processo global</i> . (c) uma possível região produtora da(s) matéria(s)-prima(s) no Brasil; (d) um fabricante de cada equipamento no país (basta o nome e o estado ou cidade);	
1.3 - (1,5) - Estimar o consumo de matérias-primas, insumos, concentrados e produtos para os equipamentos adotados (*), admitindo uma produção de 1000 toneladas do produto final (ou que seja compatível com os dados da literatura técnica ou de mercado). Se inexistirem dados referenciados, apresente a memória dos cálculos que você executou.	
<u>2. SISTEMA PARA O CONTROLE QUÍMICO DA QUALIDADE DO PROCESSO</u>	
2.1 - (1,0 pontos) - Apresentar no diagrama de blocos os pontos de controle químico do processo (para as principais substâncias manipuladas): matérias-primas, insumos, concentrados, produtos. Indicar os pontos das análises químicas (AQ's), determinações físicas (DF's) e ensaios de desempenho (ED).	
2.2 - (1,5 pontos) - Apresentar uma tabela de análises químicas e/ou mineralógicas, determinações e ensaios de desempenho cabíveis por substância manipulada, referenciadas resumidamente	
2.3 - (2,0 pontos) - <u>Associar os dados de 2.1 e 2.2</u> e apresentar uma programação semanal para o controle químico da qualidade do processo fabril, <u>sob forma de cronograma detalhado</u> , vinculando-a com possíveis dias de entrega de matérias-primas, geração de utilidades e regime de processamento fabril.	
<u>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</u>	
3.1.- (0,5 ponto) - Apresente as referências bibliográficas completas no final do texto:	
3.2.- (0,5 ponto) - Em cada item, desde 1.1 até 1.3, apresente referências resumidas entre parêntesis - ou seja, número de tabela ou gráfico e sobrenome dos autores e ano, para cada informação transcrita ou citada.	
<u>4. OBSERVAÇÕES:</u>	
4.1. - Padronizar em folhas brancas A-4; sem capas; <i>evite</i> ultrapassar 10 (dez) páginas no texto total;	
4.2 - <i>É inútil escrever uma dissertação ou monografia</i> - utilize linguagem resumida/ telegráfica, <i>é vedado usar microcomputadores ou máquina de escrever e xerocar figuras</i> ; escreva e desenhe à mão;	
4.3. - Apresente, de preferência, cada item ou sub-item (ou dois) numa página;	
4.4. - Escreva ou desenhe a lápis escuro ou caneta preta escura;	
4.5. - Indique a simbologia e nomenclatura abaixo ou ao lado de cada diagrama ou tabela;	
4.6. - Faça as modificações que julgar adequadas, indicando as referências bibliográficas resumidas;	
4.7. - O texto resultante (em forma de memória de cálculo) deverá conter na página de rosto a assinatura e o n° DRE do autor; as demais páginas deverão ser rubricadas.	

Figura 1 - Teor do 1º exercício individual de anteprojeto de processo químico inorgânico



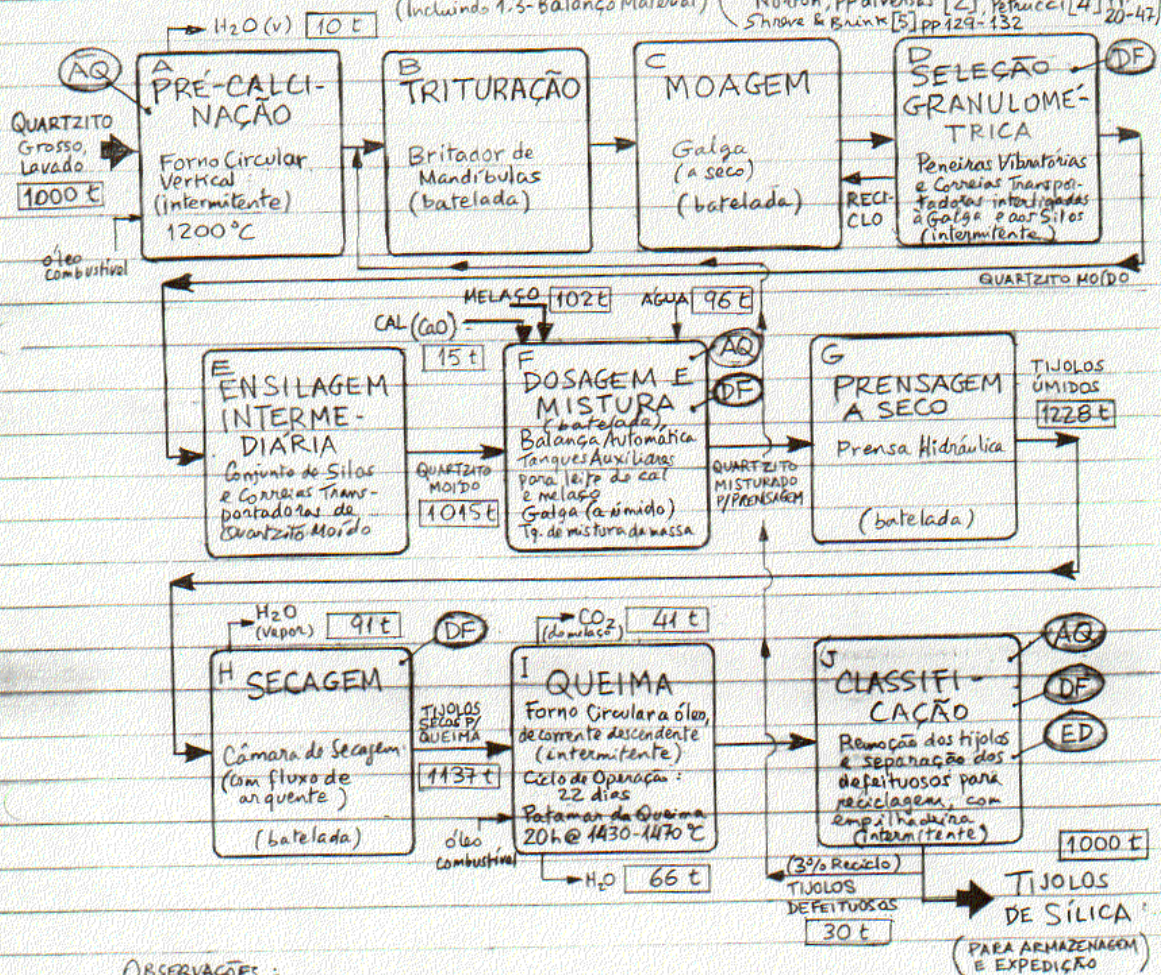
ALUNO: Wilson de Norões Milfont Jr.

1º EXERCÍCIO INDIVIDUAL: ANTE-PROJETO DE PROCESSO QUÍMICO INDUSTRIAL: PARA PRODUÇÃO DE TIJOLOS REFRAATÓRIOS DE SÍLICA

1.1- DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROCESSO

(Incluindo 1.3-Balanco Material)

Referências: Parana [3] pp 92-101
Norton, pp diversas [2]; Petrucci [4] pp. 20-47
Shrove & Brink [5] pp 129-132



OBSERVAÇÕES:

Etapa A: A pré-calcinação reduz a resistência mecânica do quartzito, facilitando a moagem subsequente

Etapas C/D: O controle da moagem e peneiração é rigoroso porque a granulometria deve obedecer a especificações rígidas para assegurar densidade e porosidade adequadas ao tijolo formado, bem como baixa retração na queima (quanto mais fina a mistura maior a retração).

Etapa F: O melasso tem a função de ligante da massa prensada e também de lubrificante na moagem.

Etapa I: A cal (CaO) tem as funções de mineralizador e de ligante do tijolo acabado, mediante a queima.

LEGENDA:

(AQ) = Análise Química

(DF) = Determinação Física

(ED) = Ensaio de Desempenho

Figura 2 – Folha 1

PROJETO TIJOLOS REFRAATÓRIOS DE SÍLICA	RUBRICA W. M. L. F. M.	FOLHA 3 DE
ASSUNTO Exec. 1- ANTE-PROJETO	REV 0	DATA 28/12/99

1.2b - INDICAÇÃO DE REGIÃO PRODUTORA PARA CADA MATÉRIA-PRIMA

MATÉRIA-PRIMA	REGIÃO PRODUTORA INDICADA	REFERÊNCIA
Quartzito	Barra Mansa, RJ Descalvado, SP (Mineração Jundu)	[1] p 5
Cal	Cantagalo, RJ	
Melago	Campos, RJ (Usinas de Açúcar)	

1.2(c) - RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS E FABRICANTES SUGERIDOS

EQUIPAMENTO	FABRICANTE	LOCAL	REFERÊNCIA
Forno Circular Vertical (p/minério)	Proforos Indústria e Comércio de Fornos Ltda	S. Caetano do Sul, SP	[1] p.124
Forno Circular de Corrente Descendente (p/tijolos)			
Britador de Mandíbulas	ICON-Industrial Conventos	Criciúma, SC	[1] p.115 2ª continuação
Galga (para moagem úmida ou a seco)	Mecânica Bonfanti S/A	Leme, SP	[1] p.100
Peneiras Vibratórias	ICON-Industrial Conventos	Criciúma, SC	[1] p.90
Correias Transportadoras (p/minérios)	CODEMIL - Ind. e Com. Equip. para Mineração Cerâmica, Ltda. Aerocenter Equipamentos Ltda.	Criciúma, SC	[1] p.110
Silos Verticais (p/minérios)		Urussanga, SC	[1] p.98
Balança Automática p/ sólidos	Eirich Industrial Ltda	Jandira, SP	[1] p.112
Tanques verticais (p/leite de cal e melago)	ICON-Industrial Conventos	Criciúma, SC	[1] p.115
Agitador tipo "propeller" (p/tq. de cal)	Aerocenter Equipamentos Ltda.	Urussanga, SC	[1] p.70
Bombas Centrífugas (p/cal, água, melago)	Envirotech Equipamentos Ltda.	São Paulo, SP	[1] p.113
Pressa hidráulica (p/tijolos sílica)	ICON-Industrial Conventos	Criciúma, SC	[1] 2ª continuação
Câmara de Secagem (p/tijolos)	ICON-Industrial Conventos	Criciúma, SC	[1] 2ª continuação
Empilhadeira (p/tijolos)	Máquinas Binz Ltda.	Sta. Cruz do Sul, RS	[1] p.99
Pá Carregadeira (p/minério)	Cerâmica Jupiter Ltda	Louveira, SP	[1] p.105
Misturador da Massa de Refratário	ICON-Industrial Conventos	Criciúma, SC	[1] p.115

Figura 2 - Folha 3

1.3 BALANÇO MATERIAL PRELIMINAR DO PROCESSO

Base: 1.000 t Tijolos Refratários (96% SiO₂)

As quantidades finais estão indicadas no diagrama de blocos (item 1.1)

Item	Critério / Referência	Quantidade (t)
1	Quartzito Especificação típica Quadro 1.1(d)	1.000
2	Água liberada em <u>A</u> Considerada por aproximação igual à perda ao fogo (1%) Tabela 1.1 d	10
3	Quartzito p/ Trituração Produto de <u>A</u> + Reciclo de <u>I</u> : $1.000 - 10 + 30 =$	1.020
4	Quartzito Moído Produto de <u>E</u> , admitindo 0,5% perdas na trituração, moagem e seleção	1.015
5	Finos (perdas) (Item 3 - item 4)	5
6	Cal Virgem Assumindo 2% Cal hidratada sobre prod. moído: $(1015) / (0,02) \left(\frac{56,1}{74,1} \right) = 15,3 \approx 15$ Perda [3] p 92 $\times (CaO/Ca(OH)_2)$	15
7	Água Adicionada i) Água p/ hidratar cal: $(1015) (0,02) - 15,3 \approx 5$ ii) Água p/ preparo de massa: 9% s/ quartzito moído ([3] p 94) $(0,09) (1015) \approx 91$ $91 + 5 =$	96
8	Melaço 1,0% s/ item 4 (Perda [3] p 94) $(1015) (0,1) \approx 102$	102
9	Tijolos Úmidos (Obtidos em <u>G</u>) Desprezando perdas na prensaagem: Produto de <u>G</u> : Tijolos = \sum itens 4, 6, 7, 8 = $1015 + 15 + 96 + 102$	1.228
10	Água liberada em <u>H</u> Água p/ preparo de pasta (Subitem 7ii)	91
11	Água Liberada em <u>I</u> Água de hidratação da cal (subitem 7i) = 5 Água de decomposição do melaço (ver 1.2a): 66 $102 \times \left(\frac{6nH_2O}{C_6H_{12}O_6} \right) = 102 \left(\frac{108}{180} \right) \approx 61$	66
12	Tijolos Secos p/ Queima (Item 9 - item 7ii) = $1228 - 91 =$	1.137
13	CO ₂ liberado em <u>I</u> resultante da queima do melaço (Item 8 - Água de decomposição) = $= 102 - 61 = 41$	41
14	Tijolos de Sílica p/ Armaz. & Expedição (Tijolos secos p/ queima) - item 11 - item 13 - reciclo tijolos $= 1.137 - 66 - 41 - 30$	1.000 (*)

OBS. (1) As adições foram ajustadas, por aproximação, p/ obter uma quantidade de quartzito igual à de produto final (Tijolos)

(2) Não considerado o balanço da queima do combustível

2. SISTEMA PARA O CONTROLE QUÍMICO DA QUALIDADE

2.1 - PONTOS DE CONTROLE QUÍMICO DO PROCESSO

Estão indicados no diagrama de blocos do processo (item 1.1)

2.2 - TABELA DE ANÁLISES, DETERMINAÇÕES E ENSAIOS

SUBSTÂNCIA MANIPULADA	ETAPA DE USO NO PROCESSO / PONTO DE CONTROLE	DETERMINAÇÕES EFETUADAS	OBS.
Quartzito Grosso	A / Recebimento ✓	Inspeção Visual AQ: Perda ao fogo SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	Referências Gerais: Peneira [3] p 92-101 Zakou [6] item 7 p 18-19
Quartzito Calcinado	A / Saída do Forno ✓	AQ: mesma acima	
Quartzito Moído	D / Peneiração ✓ E / Ensilagem Intermediária ✓	DF: Análise granulométrica	Ver Tabela 1.1 p/ referenciar substâncias
Cal (CaO)	F / Recebimento ✓	AQ: CaO	
Melaco	F / Recebimento ✓	DF: Densidade	
Quartzito Misturado p/ prensagem	F / Dosagem e Mistura ✓	DF: Densidade Umidade	
Tijolos Úmidos	H / Secagem ✓	DF: Umidade	
Tijolos Secos p/ Queima			
Tijolos de Sílica (acabados)	J / Classificação	AQ: Perda ao fogo SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ DF: → Porosidade aparente → Massa Específica aparente ED: → Resistência à compressão → Módulo de Ruptura	

Figura 2 – Folha 5

2.3 - PROGRAMAÇÃO SEMANAL DE CONTROLE DA QUALIDADE

ETAPA DE PROCESSO	SUBSTÂNCIA MANIPULADA	CRONOGRAMA DE ANÁLISES E ENSAIOS						
		DOM	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB
A/Recebimento (a)	Quartzito Grosso		AQ					
F/Recebimento (a)	Cal (CaO)			AQ				
F/Recebimento (a)	Melaço			DF				
A/Saída do Forno (b)	Quartzito Calcinado					AQ	AQ	
D/Peneiração	Quartzito Moído		DF	DF	DF	DF	DF	
E/Ensilagem Intermediária	Quartzito Moído		DF					
F/Dosagem e Mistura	Quartzito Misturado p/ Pensagem		DF	DF	DF	DF	DF	DF
H/Secagem (c)	Tijolos Úmidos	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
H/Secagem	Tijolos Secos p/ Queima	DF	DF	DF	DF	DF	DF	DF
J/Classificação (d)	Tijolos Acabados		AQ, DF, ED	AQ, DF, ED	AQ, DF, ED			

OBSERVAÇÕES

- (a) Recebimento das matérias-primas e insumos às 2^{as} e 3^{as} feiras, semanalmente
- (b) Pré-calcinação é assumida uma campanha a cada duas semanas e/ descarga 6^{as} sáb. na segunda semana
- (c) A operação de secagem tem duração de dois a três dias, com 30 h de secagem efetiva; assumiu-se que opera em ciclos sem interrupção
- (d) A campanha do forno de tijolos (Etapa I-Queima) tem duração total de 23 dias, contada do início do enformamento ao final do desenformamento (Pereira [3]), e assumiu-se que tem início uma a cada 4 semanas;
- (e) As demais etapas do processo, todas intermitentes, têm cronograma ajustado de forma a produzir uma carga de tijolos p/ enformamento/mês.

PROJETO TIJOLOS REFRACTÁRIOS DE SILICA	RUBRICA M.H. Horta	FOLHA 7 DE
ASSUNTO Exerc. 1 - ANTE-PROJETO	REV	DATA 28/12/99

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA, "Anuário Brasileiro de Cerâmica". São Paulo, SP, 1996.
- [2] F. H. NORTON, "Introdução à Tecnologia Cerâmica" (título original: "Elements of Ceramics"), tradução: J. V. de Souza, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, SP, 1973.
- [3] C. G. PEREIRA, "Tecnologia de Produtos Refratários", Editora Técnica Piping Ltda., Santo André, SP, 1985.
- [4] E. G. R. PETRUCCI, "Materiais de Construção", 4ª ed. Editora Globo, Porto Alegre, RS, 1979.
- [5] R. N. SHREVE & J. A. BRINK, Jr., "Indústrias de Processos Químicos", 4ª ed. EVA (1977), tradução: Horácio Macedo, Editora Guanabara, Rio, RJ, 1997.
- [6] A. ZAKON, "Introdução às Tecnologias Inorgânicas" (Apostila), EQ/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

Figura 2 – Folha 7

As conclusões serão expostas na Parte II da presente contribuição.

REFERÊNCIAS:

ZAKON, A.; DWECK, J.; MANDARINO, N.D.; MASCARENHAS, B.J.G.- Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico - Ensino de Processos Inorgânicos da Escola de Química da UFRJ - *Revista de Ensino de Engenharia*, 2(2):141-145, 1983
 ZAKON, A.; DWECK, J.; MANDARINO, N.D.; ALBUQUERQUE, P.C.W.; MASCARENHAS, B.J.G. - O Ensino de Tecnologias Inorgânicas na Escola de Química da UFRJ - XVI Congresso Latino-Americano de Química, RJ, outubro 1984