

## INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

**Título do Trabalho:** Modelo dinâmico para otimizar o processo de calcinação em fornos verticais na região centro-oeste de Minas Gerais.

**Autor (es):** Gabriel Victor de Sousa Lopes; Lucas Ribeiro de Oliveira; Ricardo Carrasco Carpio.

**Palavras-chave:** Indústria de Cal; Eficiência de Fornos; Modelagem Dinâmica.

**Campus:** Formiga

**Área do Conhecimento (CNPq):**

### RESUMO

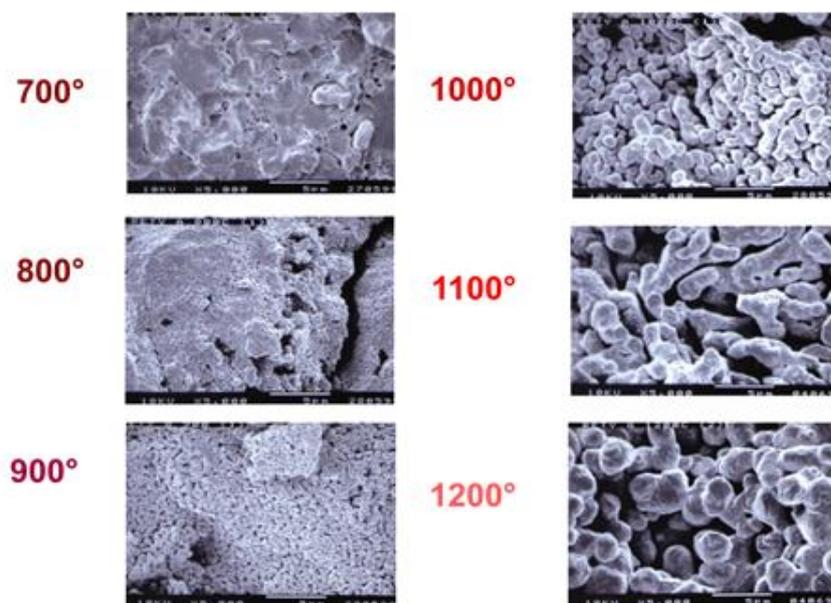
Antes mesmo da invenção dos fornos verticais e rotativos utilizados hoje para a produção da cal virgem, já existia produção de tal material, uma vez que sua produção era realizada por meio de fornos artesanais feitos no solo com trabalho totalmente braçal. Com uso dos fornos atuais ocorreram mudanças significativas na produção, fazendo com que a mesma passasse de algumas toneladas por semana, para várias toneladas por dia utilizando apenas um forno. O tempo de produção foi diminuindo cada vez mais e, ano após ano, foram estudadas maneiras de otimizar o processo. Entretanto a indústria do ramo de fabricação de cal, no centro oeste de Minas Gerais, enfrentam diversas dificuldades em relação ao controle eficaz da sua produção, visto que em muito dos casos não se conta com instrumentos para medição e aferição dos principais elementos a fim de aumentar a eficiência dos fornos de cal e diminuir as grandes perdas de energia térmica que ocorrem durante a queima do calcário, além do controle ineficiente das emissões gasosas que estão presentes no dia a dia das empresas. Outro fator que influencia diretamente na produção é o combustível utilizado na queima, fonte de pesquisa e estudos na área. Uma das soluções encontradas foi o emprego da biomassa como fonte de energia, que permite o uso de insumos que antes eram depositados na natureza, como fonte de energia. No entanto este combustível pode trazer para a produção pontos negativos como seu baixo poder calorífico, e comprometendo a qualidade do produto e a economia esperada. Desta forma a presente proposta pretende avaliar o ciclo produtivo da cal, de forma a elaborar uma modelagem dinâmica do processo, para que a partir da mesma o processo produtivo se torne mais eficiente e compensatório para as pequenas indústrias de cal da Região Centro-Oeste de Minas Gerais.

### INTRODUÇÃO:

No Brasil, a cal é utilizada nas mais diversas áreas, sendo estas supridas por mais de 200 produtores distribuídos pelo país. A capacidade de produção de suas instalações varia de 1 a 1000 toneladas de cal virgem por dia. No ano de 2007 a produção brasileira de cal sofreu um acréscimo, elevando a sua participação em 2,7% da produção mundial, ocupando a quinta posição dos países produtores de cal, seguida de perto pela Alemanha. (Pereira, 2018)

Uma característica comum entre quase todos os tipos de fornos existentes hoje é sua divisão interna do processamento da Cal, visto que os fornos podem ser divididos em três zonas distintas sendo a zona de pré-aquecimento onde ocorre a entrada do calcário que é pré-aquecido pelos gases provenientes da zona de calcinação. A zona de calcinação, é onde ocorre a entrada do combustível e ar externo expondo o calcário a altas temperaturas levando a um alto grau de sinterização na superfície da capa da cal causando o crescimento dos cristais da cal devido ao aumento da temperatura, fenômeno este apresentado na Figura 1. Por fim a Cal entra na zona de resfriamento, sendo exposta a circulação de ar a temperatura ambiente trocando calor com a Cal para que esta possa ser retirada do forno sem causar danos as esteiras transportadoras. (Bes, 2006)

Na região centro oeste de Minas Gerais, foco dos estudos realizados no presente projeto, os fornos verticais de eixo normal são comumente do tipo AZBE que possuem um revestimento interno de refratários que impede a perda de calor para o ambiente de formas indesejadas. Neste caso o combustível é injetado na zona de calcinação tendo como limitação o diâmetro do forno visto que os combustíveis injetados na parede do forno não conseguem penetrar mais que 1m no interior do mesmo (Bes, 2006). Devido às suas limitações o forno é capaz de produzir uma média média de até 350 toneladas/dia de cal, um consumo médio de combustível de 132 kg de óleo com baixo teor de enxofre ou 1,1 metro cúbico de lenha por tonelada de cal virgem (Silva, 2009).



**Figura 2:** Crescimento dos cristais na cal devido ao aumento da temperatura (Lhoist, 2017).

#### **METODOLOGIA:**

Para o desenvolvimento do projeto, inicialmente realizou-se estudos e levantamentos de referenciais, sobre processo de produção da cal. A fim de fornecer um embasamento teórico indispensável para a elaboração do projeto. Muitos estudos já foram realizados para este processo produtivo, porém apenas uma

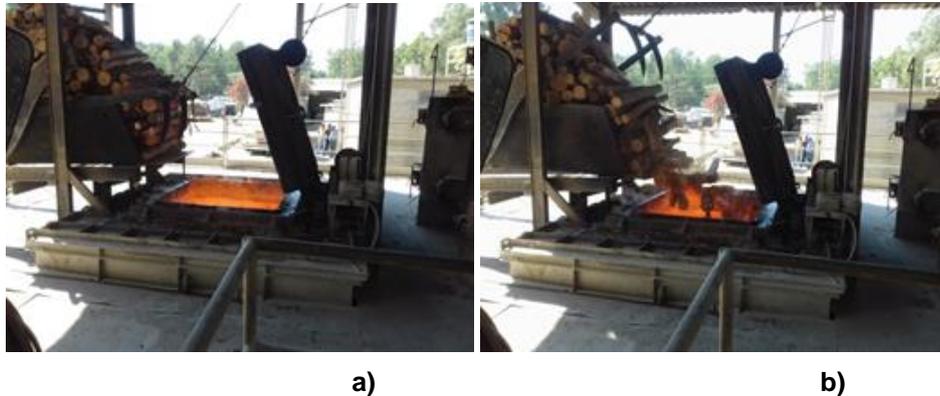
pequena parcela de tais estudos, são voltados para o forno AZBE utilizados pelas empresas parceiras do projeto. Por isso para a elaboração de métodos de otimização e análise do processo produtivo de tais fornos, faz-se necessário a realização de visitas técnicas à empresa parceira no projeto, com intuito de se familiarizar com o funcionamento do processo a ser otimizado.

Para elaboração de métodos de otimização do processo produtivo, algumas ferramentas computacionais se mostram indispensáveis. Como o caso do software MATLAB, que auxilia na construção de códigos, que permitem que o usuário possa obter dados do seu processo produtivo pela inserção de dados reais de sua produção. Visto esta demanda, foi desenvolvido um código integrado a uma interface gráfica que facilitasse a interação com o usuário, onde pela inserção de informações pertinentes aos combustíveis utilizados, a capacidade produtiva e algumas características do forno, assim como outros dados, pode-se realizar um balanço energético e/ou de massa para análise de perdas e modo de operação do forno.

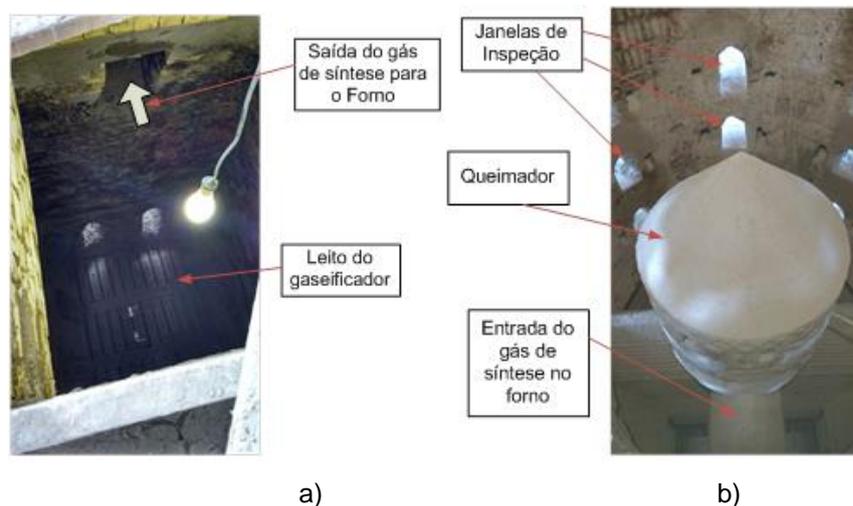
Além das análises citadas acima, a queima do calcário gera diversos gases provenientes da queima dos combustíveis e da própria reação química sofrida pelo calcário, por isso causa grandes impactos ambientais em casos onde um controle sob essa emissão não seja realizada, por isso a legislação ambiental brasileira define a concentração máximas de gases emitidos pelo forno. Sendo assim o mesmo código citado acima permite, o cálculo da vazão dos gases gerados pelo forno durante o processo produtivo informado pelo usuário, o que permite que medidas corretivas sejam aplicadas em casos onde a emissão vá contra as normas vigentes.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES:**

Através da visita realizada, constatou-se que a alimentação do gasogênio do forno vertical é feita exclusivamente por biomassa, mais especificamente a madeira do eucalipto, como pode se ver nas Figuras 3 a) e 3 b). Entretanto o método utilizado não se mostra eficaz, uma vez que não se tem um controle exato da quantidade de matéria prima necessária para manter a combustão ideal, além da alteração da combustão devido à forma no qual o abastecimento do mesmo é feita. Pela Figura 4 a) pode-se visualizar a parte interna do gaseificador (chamado também de Gasogênio) onde se produz o gás de síntese, através da queima da madeira de eucalipto. Gás este direcionado para o queimador do gás, chamado também de pirulito, virtude a seu formato geométrico, mostrado na Figura 4 b). Este queimador tem com função principal a queima do gás de síntese produzido no gaseificador



**Figura 3:** Alimentação do gasogênio da empresa Gecal. (Desenvolvido pelos autores)



**Figura 4:** a) Leito do Gaseificador (Gasogênio), onde se produz o gás de síntese b) Queimador do gás de síntese, no forno vertical da empresa Gecal. (Desenvolvido pelos autores)

Para realizar o cálculo de vazão de gases do processo, foi desenvolvido um código integrado à uma interface gráfica para interação com o usuário, onde os dados de entrada requeridos pelo *software* são apresentados na Figura 5, que neste caso, onde para simulação os campos estão preenchidos com dados fornecidos pela empresa Gecal, parceira deste projeto. Nesta interface é possível adicionar mais de um combustível, onde não há um limite para inclusão, sendo possível efetuar os cálculos para casos onde se utilizam vários combustíveis em conjunto. Existe também a possibilidade de limpar os combustíveis inclusos, e verificar quais os combustíveis foram adicionados, através da subtela chamada de “Lista de Combustíveis”. A Figura 6 mostra os resultados do cálculo, podendo ver os gases de escape, onde o  $\text{CO}_2$  é apresentado duas vezes, sendo um emitido pelo combustível e outro pela matéria prima.

Para otimizar o cálculo de balanço de massa do processo de calcinação, foi implementado um código com uma interface gráfica (assim como para o cálculo de vazão de gases), que recebe dados como o tipo do combustível utilizado e suas propriedades, produção diária da cal viva e consumo específico do

forno. A Figura 8 mostra os resultados do cálculo onde a vazão mássica dos componentes do processo, são dados em quilograma por hora e, as setas, indicam a direção de cada fluxo de massa.

**Vazao\_inicial**

INSTITUTO FEDERAL DE  
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
MINAS GERAIS  
Campus Formiga

Produção de Cal :  T/d

Consumo Específico de Energia (CEE)

Mínimo:  KJ/Kg

Máxima:  KJ/Kg

% de O2 Livre:  %

Temperatura Ambiente:  °C

Lista de Combustível

-Eucalipto

Combustível

Combustível:

Carbono (C):  %

Hidrogênio (H):  %

Enxofre (S):  %

Oxigênio (O):  %

Nitrogênio (N):  %

PCI:  KJ/Kg

% de Comb.:  %

**Figura 5:** Tela para inserção de dados para cálculo da vazão dos gases. (Desenvolvido pelos autores)

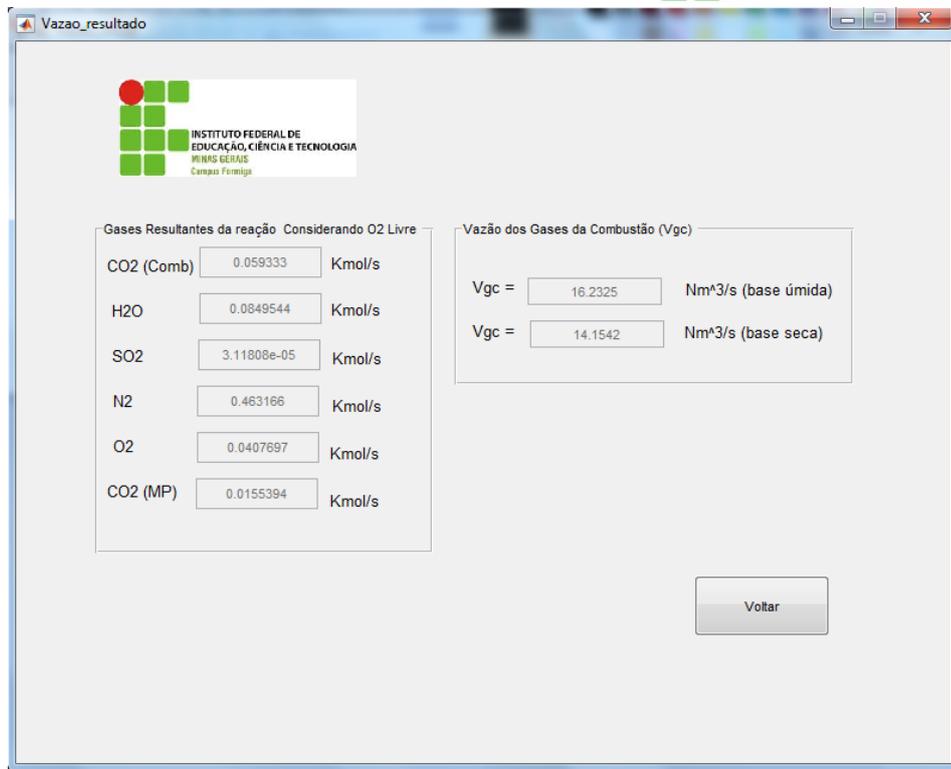


Figura 6: Vazão de gases resultante. (Desenvolvido pelos autores)

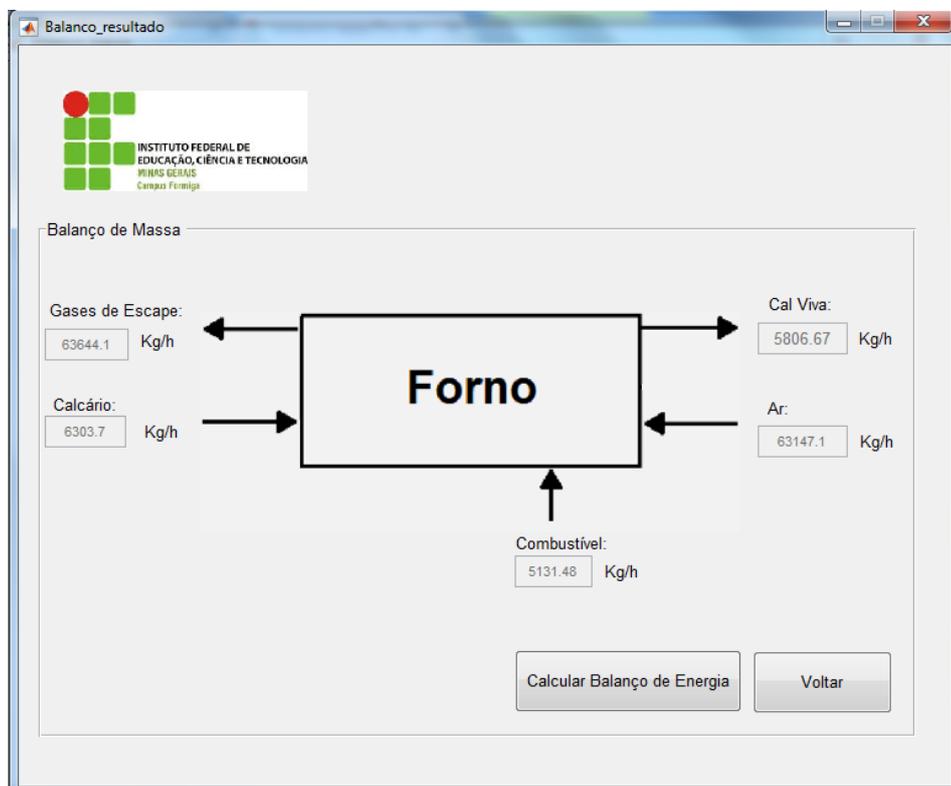


Figura 8: Balanço de massa resultante. (Desenvolvido pelos autores)

CONCLUSÕES:

Com estas etapas do projeto desenvolvidas até aqui, observa-se a grande necessidade do desenvolvimento de um padrão de fabricação da cal virgem nas empresas do centro-oeste de Minas Gerais. Com as visitas realizadas, percebeu-se que a produção acontece dia após dia com parâmetros de produção como a vazão dos gases de entrada, alimentação de madeira no gasogênio e a diâmetro das rochas variam de acordo decisões humanas tomadas de forma empírica ou até mesmo restrições da própria natureza, ou forma de armazenamento e extração da madeira e matéria prima.

Para se otimizar um processo de calcinação é necessário coletar dados da produção atual, e realizar cálculos de vazão de gases e balanço de massa e energia, para saber em qual ou quais etapas do processo pode haver desperdício ou falta de determinado parâmetro.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

BES, A. Dynamic process simulation of limestone calcinations in normal shaft kilns. Doctoral Thesis, Otto-von-Guericke University, Magdeburg, 2006. Disponível em: < <http://diglib.uni-magdeburg.de/Dissertationen/2006/agnbes.pdf> >. Acesso em: 02 mar. 2017.

OATES, O. A. H. Lime and Limestone: Chemistry and Technology, Production and Uses. Weinheim : Wiley-VCH, 1998.

PEREIRA, L. S. A indústria da cal no Brasil. Disponível em:<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/500/1/27-Luana%20dos%20Santos%20Pereira.pdf> >. Acesso em: 27 Fev. 2018.

SILVA, J. O. Perfil da Cal. Ministério de Minas e Energia (MME), 2009.