

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA DO FORNO DE CAL DE UMA FÁBRICA DE CELULOSE KRAFT

A. G. XAVIER², A. M. B. SILVA^{1,2}

¹ Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Elétrica

² Universidade de Uberaba, Programa de pós-graduação – mestrado em engenharia química

RESUMO – O setor de extração de celulose tem grande relevância na economia do país, alavancado por uma crescente demanda mundial do produto para produção de papel em suas diversas aplicações, impulsionando as indústrias na busca por um processo mais eficiente, rentável e sustentável. Isso tem despertado grandes interesses em estudos para otimizações dos processos. Alinhado a essa necessidade, o setor brasileiro de celulose e papel tem buscado alternativas para melhorar a eficiência energética das unidades já existentes, reduzindo em suas matrizes energéticas a utilização de combustíveis fósseis, almejando também otimizar as emissões atmosféricas. Esse trabalho possui como objetivo principal, demonstrar as etapas da otimização energética do forno de cal de uma indústria de polpa Kraft. O equipamento em estudo é o maior consumidor de combustível fóssil da fábrica (gás natural) e responsável pelo terceiro maior custo variável da organização. Também buscaremos com esse trabalho abordar o efeito da variação da granulometria da cal recuperada no residual de carbonato de cálcio na saída do forno de cal; a implementação de controles avançados e por fim avaliar o resultado da elevação da queima dos combustíveis auxiliares e a redução no consumo de gás natural. Os métodos utilizados para as análises foram, descarbonatação ácida e granulométrica, modelo de dispersão e análises de tendência. Como resultado, foi possível identificar, melhor estabilidade de processo e redução de custo.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento contínuo de tecnologia e conhecimento do processo, nas suas diversas etapas visa o aumento de produtividade e a redução de custo, mantendo e ampliando a competitividade do setor de celulose e papel. Além disto, o setor tem se destacado pelos indicadores de sustentabilidade ambiental, social e econômico (BRACELPA,2014).

Para a produção de polpa química o processo kraft é, de longe, o mais utilizado, sendo responsável por mais de 95% de toda a produção mundial. No caso da polpa de eucalipto, ele é o processo quase absoluto. O processo kraft se baseia na utilização de uma solução de soda caustica e sulfeto de sódio para atacar e dissolver a lignina da madeira em vasos sob temperatura e pressão denominados digestores (Foelkel, 2009).

O forno de cal da fábrica de celulose tem o propósito de reduzir os custos de produtos químicos, através da conversão da lama de cal (carbonato de cálcio) para cal (óxido de cálcio).

O forno é um reator químico horizontal e rotativo, revestido internamente com tijolos refratários. Tem como função suportar a lama processada, mantendo resistência à altas temperaturas. Também conta com material isolante, usado para diminuir a perda de calor através das paredes do equipamento. O forno é levemente inclinado, para que a lama de cal seja introduzida na parte mais elevada e, pelo movimento rotativo, o produto vai se deslocando em sentido contracorrente aos gases quentes provindos da combustão que ocorre no lado apostado, onde estão localizados os queimadores.

Neste processo, utiliza-se da transferência do calor resultante de combustão, para realizar a reação de calcinação da lama, convertendo o carbonato de cálcio em óxido de cálcio (cal recuperada), que dentro do ciclo de recuperação será novamente utilizada nas reações de caustificação. A secagem, aquecimento e calcinação da lama demandam energia térmica, onde a conversão ocorre em temperaturas elevadas, na faixa de 1100 à 1300°C. Em geral, os fornos utilizam como fontes primárias de energia a combustão do gás natural ou óleo combustível. Também queimam os combustíveis auxiliares gerados no próprio site, como o metanol extraído na planta de evaporação; hidrogênio oriundo da planta química e gases residuais do processo.

Este projeto tem como objetivo apresentar uma análise visando a redução do consumo de combustível não renovável, o maior consumo de subprodutos gerados no processo de fabricação de celulose e a otimização energética.

3. MATERIAL E MÉTODOS

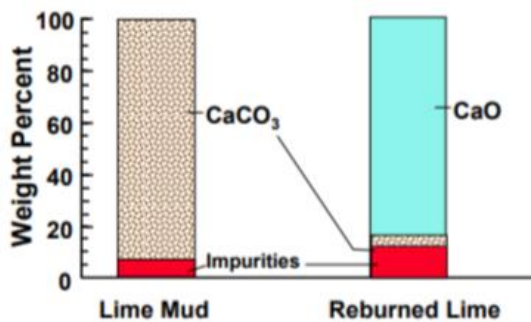
Este trabalho experimental foi realizado em uma indústria de celulose do município de Três Lagoas entre os meses de julho a setembro de 2020. Foram analisados os dados de processo de uma indústria de celulose, localizada em Três Lagoas, utilizando o sistema PIMS - Plant Information Management System, plataforma de gerenciamento de informações industriais, que coleta dados de várias fontes e armazena em um banco de dados, permitindo assim realização de consultas e análises para verificação de tendências e otimização dos processos. Para análises de um dos parâmetros de controle do processo do forno de cal; o teor de carbonato de cálcio residual na cal recuperada de processo, bem como a granulometria do óxido de cálcio recuperado; foram utilizadas as técnicas de descarbonatação ácida, que prevê a reação da amostra contendo o material de interesse, carbonato de cálcio, que em contato com o ácido clorídrico 6 mol/l, reage e libera gás carbônico como um dos produtos de reação. O outro produto é o cloreto de cálcio, que é um sal solúvel e incolor, o gás carbônico desprendido desloca um líquido confinado no calcímetro do tipo Dietrich-Fruhling (Consiste em suporte para as amostras, serpentina de resfriamento e um cilindro graduado, confeccionado conforme norma NBR 6473:2003 item 6.9.14), equipamento utilizado para medir o deslocamento do gás, que por sua vez é utilizado nos cálculos estequiométricos para a determinação do teor de carbonato de cálcio, conforme norma NBR 6473 de 2003 - Cal Virgem E Cal Hidratada – Análise Química. A análise granulométrica, foi realizada utilizando um agitador eletromagnético modelo Bertel, contendo peneiras classificatórias variando entre 45 mm a 2 mm de diâmetro no equipamento, classificando dessa forma o óxido de cálcio recuperado no processo de forno de cal. Após a realização das análises os resultados foram plotados, conforme gráficos, que serão apresentados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeitos das diferentes granulometrias da cal

Um dos parâmetros mais importantes no processo de calcinação é o teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) e óxido de cálcio (CaO) no forno de cal. No gráfico 1 podemos notar as composições típicas da lama de cal e cal recuperada e calcinação, calcinação de carbonato de cálcio em óxido de cálcio.

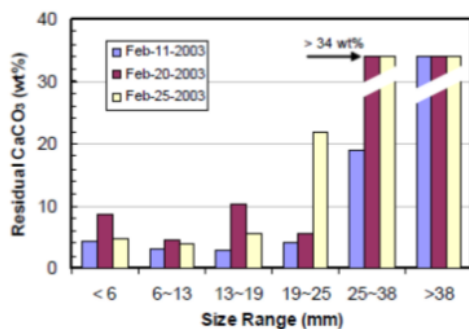
Figura 1 - composição típica da lama de cal e cal recuperada



Fonte: TRAN, 2008

Durante o período de análise do processo, foi observado grande variação no teor de CaCO_3 na saída do forno, o que acarreta a baixa conversão do carbonato em óxido, mesmo sem variações significativas na entrada do forno. Essa variação na saída do forno provoca oscilações acentuadas na energia requerida para reação de calcinação e por consequência ocorria variações no perfil térmico do forno, o que pode acarretar maior consumo de combustível. Honghi Tran (2008), demonstra no gráfico 2 a elevação do carbonato em função do tamanho da cal.

Figura 2 - Efeito do tamanho da cal no residual de carbonato de cálcio



Fonte: TRAN, 2008

Com relação aos tamanhos do cal, o fornecedor da tecnologia Andritz recomenda que sejam utilizadas partículas na faixa de 10 a 24 mm. Os resultados das análises realizadas foram tabulados considerando a faixa de 10 a 20 mm como ideal e então feita o percentual de partículas encontrada no

limite estabelecido e acima e abaixo dele. A Tabela 1 ilustra a distribuição em porcentagem de massa das diferentes frações de tamanho das pedras. Nota-se que há uma distribuição uniforme nos percentuais dos tamanhos médios. Tabela 1 – Distribuição do % de massa por granulometria.

Granulometria	
mm	% médio
> 20	31,66
> 10	34,84
< 10	33,5

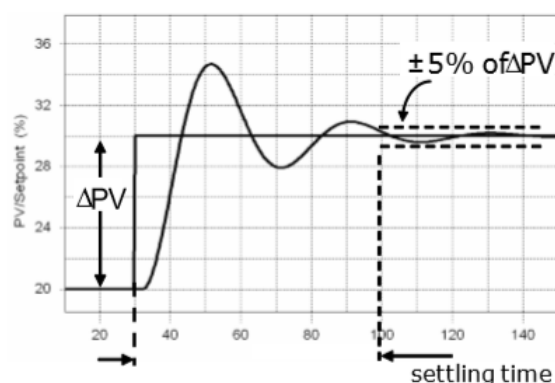
Fonte: Elaborado pelos autores através dos resultados obtidos

Sintonia de malha

O CS TUNER é uma ferramenta de otimização e diagnóstico PID online, ele é configurável para suportar o acesso aos dados do processo em tempo real ou aos dados do processo que são armazenados em um banco de dados, ou seja, histórico de dados. A análise realizada pelo CS TUNER pode ser usada para entender melhor a dinâmica do processo crítico e para melhorar o desempenho geral da produção.

A figura 1 mostra o tempo de acomodação da variável de processo após a sintonia da malha.

Figura 3- Exemplo de atuação do CS TUNER



Fonte: Cs tuner Yokogawa

Controle avançado

Segundo Schwab (2016) estamos no meio da quarta revolução industrial, também chamada de indústria 4.0, onde sistemas ciberfísicos, internet das coisas (IoT), análises baseadas em grande massa de dados (big data analytics), machine learning, sensores virtuais e dados na nuvem estão interligados, a fim de otimizar em tempo real os processos, com grande impacto na economia, sociedade e governos. O controle avançado está alinhado ao conceito 4.0 e tem como objetivo fazer reavaliações rápidas e estratégicas, otimizando a tomada de decisão, mesmo em processos ruidosos. Utiliza-se também a modelagem e o controle fuzzy que são técnicas para tratar informações de maneira coerente, lidando com a relação entre entradas e saídas, adicionando parâmetros de processo e controle e fornecendo resultados mais precisos, com melhor desempenho e robustez. Para contribuir com a redução da variabilidade do processo, foram implementados alguns controles avançados, atuando no gerenciamento dos combustíveis, antes controlados manualmente pelo operador. Com a implementação dos controles e estabilidade do processo, foi possível elevar em 34% a relação de combustíveis auxiliares (subprodutos) e reduzir proporcionalmente o consumo de gás natural, ressaltando que não houve redução na qualidade das emissões atmosféricas.

Nas figuras de 4 a 8 temos a produção média do forno de cal em ton/d, queima de metanol em kg/d e a queima de gás natural em m³/d, a queima de hidrogênio em kg/d e o residual de oxigênio em porcentagem, antes da implementação dos controles e após a implementação dos controles.

Produção do forno de cal

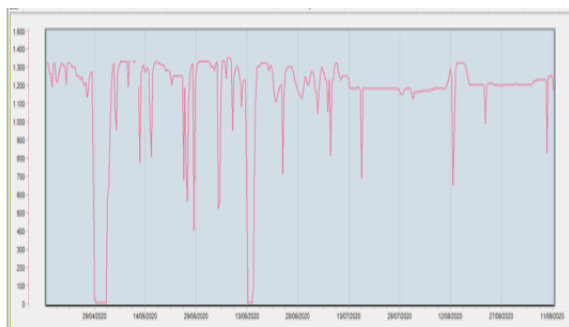


Figura 4- produção do forno de cal em ton/d

Vazão de Metanol

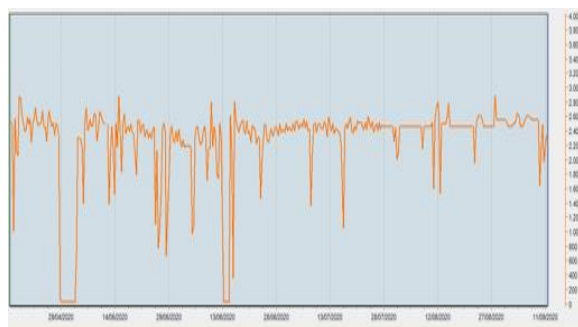


Figura 5- vazão de metanol em kg/h

Vazão de gás natural

Vazão de hidrogênio

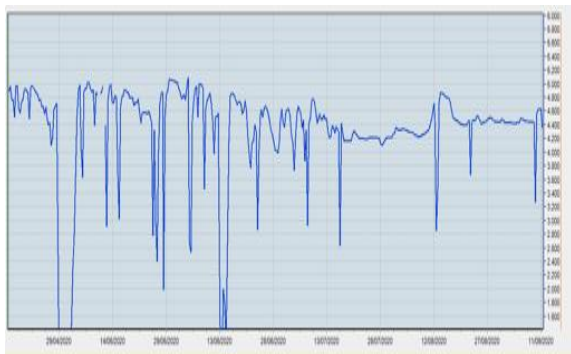


Figura 6- vazão de gás natural em m³/h

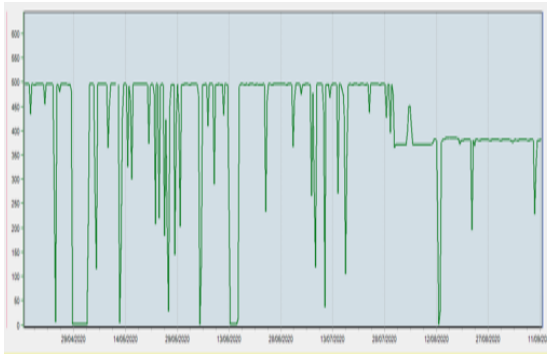


Figura 7- vazão de hidrogênio em kg/h

Residual de oxigênio

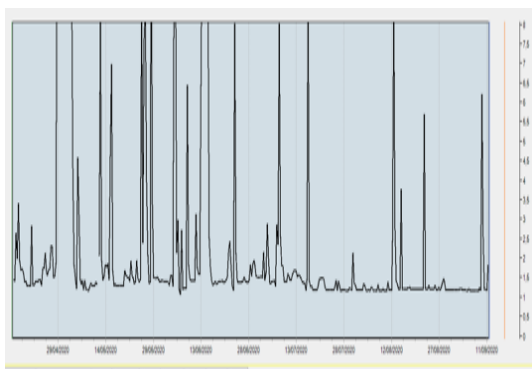


Figura 8- oxigênio residual em %

5. CONCLUSÃO

O trabalho realizado, proporcionou redução do consumo de gás natural em 16%, elevando assim a proporção dos combustíveis auxiliares (subprodutos de processo). Após a otimização, ficou evidente a estabilidade operacional relacionada, conforme demonstrado nas figuras 4 a 7. Toda a alteração no processo permitiu a reutilização de subprodutos sem impacto para as emissões atmosféricas. E por fim redução de custo.

Este trabalho foi a primeira fase de otimização proposta, sendo necessário a continuidade buscando a melhoria contínua e inovação.

6. REFERÊNCIAS

AXEGARD, P.; CAREY J.; FOLKE J.; GLEADOW P.; GULLICHEN J.; PRYKE D. C.; REEVE D.W.; SWAN B.; ULOTH V. Minimum-impact mills: Issues and challenges. In: Proceedings of the minimum effluent mills Symposium. Tappi Press, Atlanta. pp. 529-541 (1997).

BRASIL – Um mercado focado no crescimento de tissue. Tissue Online, 2018. Disponível em: <https://tissueonline.com.br/brasil-um-mercado-focado-nocrescimento-de-tissue/>. Acesso em: 28 de junho de 2020.

CAMPOS, Edison da Silva; FOELKEL Celso. A evolução tecnológica do setor de celulose e papel no Brasil. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São Paulo, Brasil. 2016.

CGEE. O setor de celulose e papel no Brasil, 2013. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/anexo_publicacao_centro_tecnologico_celulose_papel_CGEE.pdf Acesso em: 27 de junho de 2020.

COLODETTE, J. L., Gomes, F. J. B. – Branqueamento de polpa celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado. Viçosa: Editora UFV, 2015.

COSTA, A. O. S. Alternativas para o Controle de um Sistema de Evaporadores de Múltiplo Efeito. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Engenharia Química do Instituto Alberto Luis Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia - PEQ-COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

D’ALMEIDA, M. L. O. Celulose e papel - Tecnologia de fabricação do papel. 2. ed. São Paulo: SENAI-IPT. v.2. 1988.

EHRENFELD, John.R. Industrial Ecology And Interdisciplinary: A new Challenge for University Teaching And Research Programs. NTNUNorwegian University Of Science- and Technology. Noruega. 2001.

FIGUEIRÊDO, L. S. Modelagem Matemática do Estado Estacionário de um Real Sistema de Caustificação em uma Fábrica de Celulose. 2009. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Industrial do UnilesteMG) Coronel Fabriciano, MG, 2009.

HOGLUND, O. Environmental Technology in Pulp and Paper Industries. Kvaerner Pulping AB. Markaryd, Sweden. May 1999.

IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. Sevilha. Espanha. European Commission. 2000.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering, Springer, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

PEREIRA, Adriano; SIMONETTO, Eugênio de Oliveira. Indústria 4.0: Conceitos e perspectivas para o Brasil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde. v. 16, n. 1. pág. 1-9.jan./jul.2018.Disponível em:http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4938/pdf_808 PINHEIRO, Olivert Soares. Modelagem e otimização do rendimento de uma caldeira de recuperação em uma indústria de celulose kraft. 2011. 85f. Dissertação. Unileste MG. Coronel Fabriciano, 2011. Disponível em: https://www.unileste.edu.br/portal/mestrado/dissertacoes/dissertacao_026_olivert.pdf

SCHWAB, K. “The fourth Industrial Revolution”. VINT research report, p 1-30, 2016.

SPRINGER, A. M. Industrial Environmental Control. Pulp and Paper Industry. Tappi. Atlanta. USA 1993.

TRAN, H. Lime Kiln Chemistry and Effects on Kiln Operations. Tappi Kraft Recovery Short Course, 2008. Disponível em: <https://www.tappi.org/content/events/08kros/handouts/2-3.pdf>.

VAKKILAINEN E. K. Kraft recovery boilers – Principles and practice. Helsinki, Finland. Helsinki University of Technology. 2007.

YOKOGAWA CS TUNER- Powered Control Station