

PROJETO DE UMA PLANTA DE SECAGEM DE CAULIM COM USO DE ENERGIA SOLAR E DIESEL

Marcelo A. Santos¹; Gerônimo B. Alexandre²; José A. Freire³

RESUMO – O aumento da complexidade dos processos envolvidos na mineração, devido às restrições de qualidade, segurança e ambientais e uma legislação mais rigorosa são razões fundamentais para o desenvolvimento de soluções viáveis que minimizem impactos ambientais e ao mesmo tempo aumentem a capacidade produtiva da mina. Este trabalho apresenta as características gerais do projeto de uma planta de secagem do caulim com o uso de energia solar e diesel, como fonte primária, eficiente, confiável e economicamente viável. A alternativa proposta visa substituir a secagem tradicional a céu aberto ou a fornos com queima de lenha por um sistema eficiente de secagem combinada, reduzindo impactos ambientais associados à atividade de secagem do caulim e o tempo da secagem, proporcionando um aumento na produção da unidade de beneficiamento.

Palavras-chave: Secagem industrial; caulim; energia solar-diesel; impactos ambientais; eficiência energética.

ABSTRACT – The increase in complexity of the involved processes in mining, due to environmental, safety and quality restrictions and stricter legislation are fundamental reasons for development viable solutions that minimize environmental impacts at the same time increase production capacity of the mine. This paper presents the general features of design of a drying plant kaolin solar diesel as a primary source, efficient, viable economically and reliable. The alternative proposal to replace the drying traditional in the open air or kiln with wood burning by an efficient system of combined drying, reducing environmental impacts associated with seen drying of kaolin and drying time, resulting in an increase in the production of a processing unit.

Keywords: Industrial drying; kaolin; solar-diesel energy; environmental; energy efficiency.

^{1,3}Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia. ²Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Campina Grande. Av. Aprígio Veloso, 882 – Cidade Universitária, CEP 58109-900, Campina Grande – PB. E-mail: ¹marcelo.eng.minas.ufcg@gmail.com; ³avelino@dmg.ufcg.edu.br; ²geronimo.alexandre@ee.ufcg.edu.br.

1. INTRODUÇÃO

A secagem industrial é a operação pela qual é retirada a umidade contida nos diversos materiais. A secagem é uma das operações unitárias mais usadas na prática, tanto para o acabamento final ou equilíbrio da umidade própria dos diversos materiais processados com o ar ambiente, como é o caso das madeiras e de seus derivados, das borrachas, dos couros, dos plásticos, da celulose e seus derivados, entre outros, como para sua melhor conservação, como é o caso dos cereais, dos alimentos e dos materiais perecíveis de uma maneira geral (Costa, 2007).

O caulim de alta qualidade precisa obedecer à legislação vigente, o minério argiloso deve apresentar um teor inferior a 8 % de umidade de sua massa (92 % material sólido e 8 % material líquido), para que esses índices estejam em conformidade com as normas vigentes é necessário garantir que a etapa de secagem seja bem executada, confiável e precisa, já que essa compromete a qualidade do produto final.

Atualmente, a secagem do caulim no Brasil é realizada de duas maneiras: na forma natural, através da exposição ao sol e/ou em fornos à lenha (ou a diesel). Um dos sérios problemas diagnosticados na mineração do caulim é a queima de madeira para a secagem do caulim nos fornos, além da poluição atmosférica, essa atividade causa sérios prejuízos à flora nativa daquela região, mesmo os órgãos ambientais autorizando a retirada de alguns determinados tipos de árvores para a queima na secagem de caulim, as recomendações nem sempre são respeitadas, especialmente pelas pequenas indústrias, bem como o uso de filtro junto aos fornos é negligenciado.

A etapa de secagem da polpa de caulim é uma das etapas finais do beneficiamento desse minério, uma melhoria nessa etapa gera ganhos econômicos, sociais e ambientais, além de garantir uma melhoria na eficiência da unidade de beneficiamento como um todo. Estudos na área de secagem industrial mostram que a obediência aos teores mínimos de umidade diminui em até 98 % os problemas de formações de bolsões de ar/água nos silos de armazenamento, causadores de danos ao produto armazenado e ao próprio silo (oxidação, formação de microestruturas internas, fraturas e ferrugem), aumentando assim, os gastos com manutenção.

Os objetivos do projeto (descrição, montagem e funcionamento) são: desenvolver uma unidade de secagem do caulim usando energia solar diesel como fonte primária, eficiente, confiável e economicamente viável; substituir a secagem tradicional a céu aberto ou a fornos com queima de lenha por um sistema eficiente de secagem combinada (energia solar/diesel); minimizar impactos ambientais da atividade de secagem do caulim; redução do tempo de secagem, proporcionando um aumento na produção da unidade de beneficiamento e a redução de problemas com umidade interna nos silos de armazenamento ou estocagem.

Para consecução de projeto se faz necessário um estudo preliminar de mercado e um estudo de análise econômica de riscos de investimentos, buscando avaliar as melhores alternativas de projeto em suas peculiaridades para execução da planta de secagem, dando condições de retorno do capital investido para o empresário que compra o produto (a planta de desidratação).

O dimensionamento da unidade de secagem deve ser projetado conforme as instalações da mineradora contratante, levando em consideração a produção diária da mina, o consumo energético da mineradora, a efetivo profissional, as especificações dos teores de umidade para o produto final e a aplicabilidade do produto final.

A planta de secagem do caulim será alimentada por energia solar/diesel proveniente de um banco fotovoltaico (períodos de boa incidência solar) e de um grupo geradores (períodos de baixa incidência solar), portanto uma fonte primária híbrida renovável e pouco poluente ao contrário da secagem com queima de lenha, uma fonte esgotável, poluente e às vezes com madeira ilegal. Evitando assim problemas ambientais, sociais e econômicos.

O modelo atual de secagem do caulim além da poluição atmosférica causa problemas a saúde dos trabalhadores envolvidos nessa atividade, poluição de lagos e rios (aumento da temperatura dos corpos d'água, devido ao lançamento de águas provenientes dos fornos a lenha), queima de madeira ilegal e custos com manutenção dos fornos operantes (construção, reparos, e desentupimento das entradas e das chaminés dos fornos). A substituição desse modelo por um modelo moderno e eficiente irá reduzir tais problemas, em especial o entupimento de “bocas do forno por brasas” deixará de existir.

2. EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DO CAULIM

Este artigo está organizado da seguinte maneira. As características do minério caulim, enfocando o processo de beneficiamento, em especial a secagem e a metodologia de projeto da planta de secagem usando energia solar diesel são discutidas na Seção 2. Nas Seções 3, 4, 5, 6 e 7 será feito o detalhamento da planta de secagem, descrevendo as características de projeto de cada subunidade que compõe a planta. Na Seção 8 apresenta-se um estudo econômico de análise de riscos e investimentos onde será avaliada a viabilidade econômica do projeto proposto para uma possível implementação (montagem). Na Seção 9 apresentam-se as conclusões e eventuais trabalhos futuros.

O caulim é um minério argiloso composto principalmente pela caulinita, encontrado em abundância na natureza, mas mesmo sendo abundantes somente algumas reservas no mundo oferecem material de boa qualidade para a comercialização (Brasil, Reino Unido e Estados Unidos). É considerado um dos minerais mais versáteis da indústria e por isso utilizado em diversas aplicações. Dentre elas, se destacam a indústria de papel, tintas, cerâmica, plásticos, borracha, catalisadores, fibra de vidro, farmacêutica, cosméticos, adesivos e fertilizantes.

Nas atividades de extração de materiais rochosos ou argilosos, em todas as suas fases, envolve atividades que provocam impactos para o meio físico e biótico. Alguns desses impactos dependem de fatores como tipo de minério, técnicas de extração e beneficiamento, o que requer diferentes medidas para recuperação ambiental. Nessa etapa de operação os principais problemas identificados estão relacionados à segurança e a saúde dos trabalhadores, tais como: desmoronamento das paredes internas da mina; negligência no uso dos equipamentos de proteção individual e coletiva (EPIs e EPC); má iluminação nas galerias subterrâneas; baixa quantidade de oxigênio presente no ar nas galerias; exposição por longos períodos a micropartículas do caulim, provocando doenças respiratórias, como por exemplo, a silicose; câncer de pele, entre outros problemas.

Para promover o melhor aproveitamento do caulim é necessário realizar operações de beneficiamento, as quais vão depender do uso a que se destina. Existem dois tipos básicos de processamento: o beneficiamento a seco e o beneficiamento a úmido. Na Figura 01 é ilustrado um fluxograma descritivo de uma usina de beneficiamento do caulim.

A operação inicial do beneficiamento consiste no transporte do caulim desde as pilhas de homogeneização, localizado no pátio de estoque, até um alimentador de esteiras. O caulim segue até um tanque de agitação, onde se adiciona água e a solução com reagente químico (dispersante) para obtenção de uma polpa com 40 % de sólidos. Em seguida, a polpa é bombeada para um tambor de atrição, contendo blocos de calcário, de modo a proporcionar uma maior desagregação do caulim bruto (Rocha, 2002).

Na etapa seguinte, a polpa é peneirada em uma peneira vibratória, de modo a remover os fragmentos de calcário presente na polpa. Na etapa posterior, é realizada outra classificação em classificador espiral, para remoção parcial do material com granulometria acima de 360 μm , constituído principalmente de quartzo. O produto fino do classificador espiral, com 28 a 30% de sólidos, passa por uma classificação em peneiras vibratórias, com abertura de 250 μm para remoção de impurezas. O produto grosso do classificador segue até uma peneira de abertura 250 μm para recuperação do caulim residual. A fração retida nessa peneira segue para o pátio de estoque de rejeito que será utilizado na construção ou na cava de minas. As frações passantes nas peneiras de abertura 250 μm são conduzidas até um tanque, responsável pela alimentação da centrífuga (caulim *coating* e o caulim extrafino). Na centrífuga, obtém-se um produto fino, em torno de 2 μm (Rocha, 2002).

O produto grosso da centrifugação do caulim extrafino é classificado em um hidrociclone, cuja finalidade é de aumentar a recuperação da fração fina do caulim. O mesmo procedimento não se observa no beneficiamento do caulim *coating*, pois o produto grosso da centrífuga apresenta partículas prejudiciais à alvura do caulim, razão pela qual é encaminhado para a barragem de rejeitos. A fração grossa da ciclonagem segue também para a barragem de rejeitos, enquanto a fração fina é adicionada ao produto fino da centrífuga (durante a produção do caulim extrafino). De modo a remover matérias orgânicas que são carregadas junto ao caulim, a fração fina da centrífuga (e também do hidrociclone, quando for o caso) alimenta peneiras com abertura de 44 μm . A fração abaixo de 44 μm é conduzida para um tanque, que irá alimentar os tanques de alveamento químico e/ou floculação. A fração retida nas peneiras é encaminhada também à barragem de rejeitos. Verifica-se nessa etapa uma recuperação em massa de 96 % para o caulim extrafino e de 60 % nos caulins *coating* (Rocha, 2002).

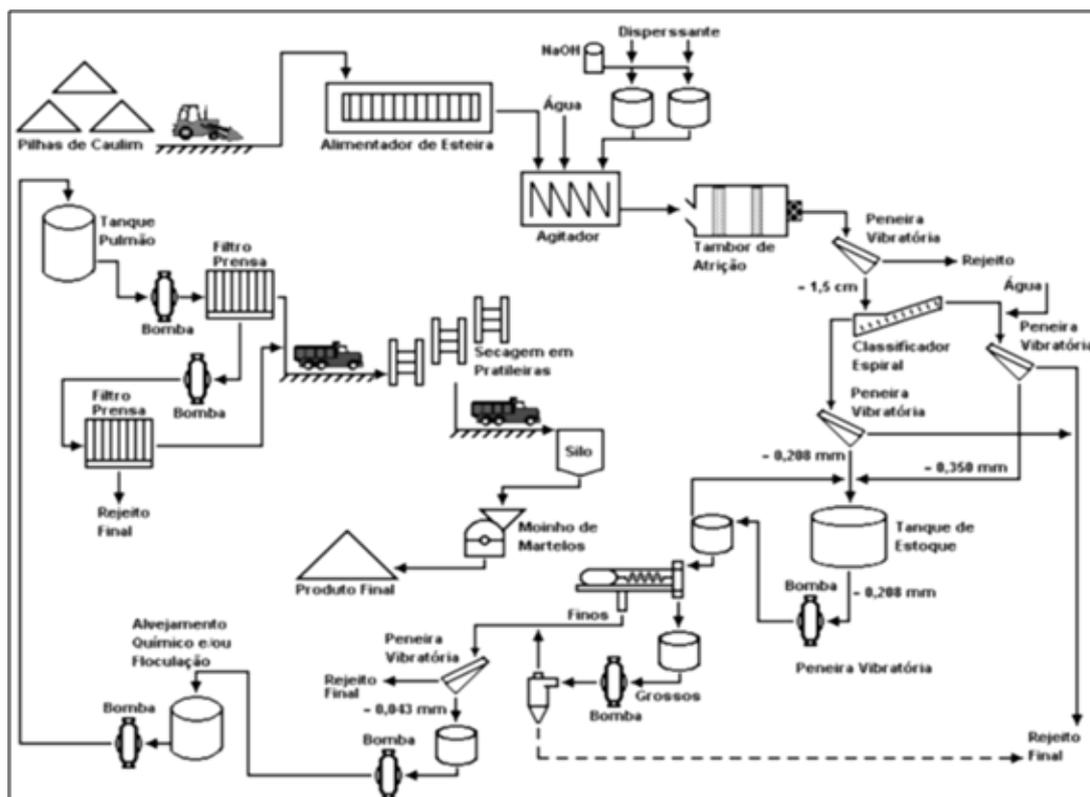


Figura 01 - Fluxograma de uma usina de beneficiamento de caulim.

Fonte: Rocha, 2002.

Na etapa de alveamento químico e/ou floculação, a polpa é encaminhada para tanques de fibra de vidro. No alveamento dos caulins do tipo *coating* são adicionados ácido sulfúrico, sulfato de alumínio e hidrossulfito de sódio. Os dois primeiros são utilizados para floculação do caulim e o último para lixiviação do ferro, elemento extremamente prejudicial à alvura do caulim. Já no processamento do caulim extrafino não é adicionado hidrossulfito de sódio à polpa de caulim, visto que a alvura deste já apresenta valores compatíveis com sua utilização. Após um período de 2,0 h de reação, a polpa floculada segue para dois tanques pulmões, que irão alimentar os filtros prensas, operando em paralelo. Durante a filtragem dos caulins *coating 87* e *coating 90*, boa parte do ferro presente no caulim é removido junto com o filtrado. As tortas obtidas apresentam em média cerca de 32 % de umidade e são encaminhadas à etapa de secagem. A etapa de secagem é feita ao ar livre por meio de prateleiras (podendo ser feita por fornos a lenha ou a diesel), onde é efetuada a remoção parcial da água por evaporação. O filtrado obtido na primeira etapa de filtragem alimenta dois filtros prensas, para recuperar o caulim presente no mesmo. O filtrado dessa segunda etapa é direcionado a um tanque para posterior produção do caulim extrafino, após a correção do pH (Rocha, 2002).

Após a secagem, as tortas seguem para um moinho de martelos, onde são pulverizadas e armazenadas. O tempo em que o caulim permanece em estoque é suficiente para redução da umidade do mesmo a valores em torno de 8 %, requerido pelo mercado consumidor.

Na etapa de beneficiamento os principais problemas estão ligados à quantidade de resíduo gerada, 70% do caulim extraído, e a poluição do ar. Os resíduos gerados nessa etapa são geralmente empilhados em terrenos das empresas de beneficiamento, ocupando assim um grande volume. Como a disposição dos resíduos não é feita de forma correta, observa-se que eles, depois de secos, se transformam em pó e pela ação do vento, se espalham, poluindo o ar.

Por causa da grande quantidade de resíduos gerados pelo beneficiamento do caulim, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas, com o intuito de aproveitá-los em diversos segmentos da construção civil. Essas pesquisas visam proporcionar a valorização do resíduo e a redução dos impactos ambientais provocados pelos mesmos.

3. DESENVOLVIMENTO DE UMA UNIDADE DE SECAGEM INDUSTRIAL

A literatura na área de secagem industrial pode ser dividida em duas categorias: secagem mecânica e secagem por difusão de vapor d'água. A secagem mecânica é usada para materiais sólidos que se dissolvem em água, sendo necessária uma secagem preliminar feita por meios mecânicos, como a prensagem, a gravidade, a torção ou centrifugação. A desvantagem desta técnica é uma elevada umidade residual presente no material após operação.

Para uma secagem mais completa por parte dos materiais, usa-se da secagem por difusão do vapor d'água no ar. O processo de difusão do vapor d'água no ar depende da diferença das pressões de vapor entre o material a secar e o ar, em outras palavras a evaporação da água da superfície molhada, havendo, portanto uma troca térmica de calor sensível por calor latente (Costa, 2007).

A secagem por difusão de vapor d'água dar-se de duas maneiras, a secagem natural e a secagem por aquecimento do material. Na secagem natural tanto o material a secar quanto o ar se encontram nas condições ambientais normais, sendo, portanto um processo lento. Pode-se aumentar a secagem natural (tornar a secagem mais rápida), aumentando a velocidade do ar circulante, em relação ao parado.

A secagem por aquecimento do material pode ser entendida da seguinte maneira: aumentando a temperatura do material, aumenta-se a pressão de saturação do vapor d'água na superfície do mesmo, conseqüentemente o aumento da transferência de massa de vapor d'água do corpo para o ar no processo de secagem (Costa, 2007).

O aquecimento usado para o projeto do forno de desidratação do caulim será o aquecimento por efeito Joule combinado com aquecimento do ar, especificamente a técnica de ventilação forçada do ar. A explicação para tal escolha está no fato que a técnica por efeito joule é usada para aquecer e o aquecimento do ar para secar.

No processo de secagem por meio de ar quente, têm-se três fases distintas: aquecimento do material até a temperatura ótima do ar de secagem, a qual ocorre à evaporação da umidade de forma discreta; a secagem propriamente dita; e um eventual superaquecimento (Costa, 2007). No caso da polpa do caulim não haverá o superaquecimento, pois não se deseja a eliminação total da umidade da torta.

Para garantir uma boa eficiência do forno proposto, esse deve apresentar as seguintes características: superfície adequada para um contato suficiente entre o ar aquecido e o material a secar; uniformidade do gradiente de temperatura imposto ao longo pelas resistências elétricas; boa uniformidade na distribuição do ar quente que flui em contato com o material a secar; sistema de ventilação forçada eficiente, a fim de evitar perdas de cargas excessivas; montar as resistências de maneira que a queima de parte do sistema não leve a parada total do sistema de aquecimento; identificar a posição ótima das resistências elétricas por meio de simulação numérica.

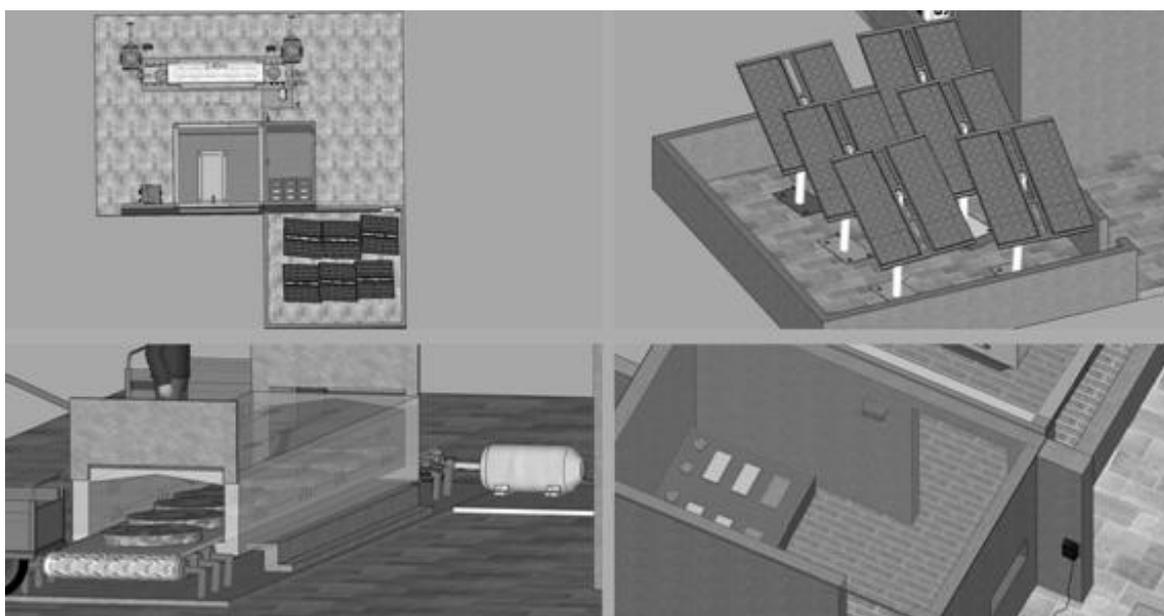


Figura 02 - Detalhes da planta de secagem do caulim.

A planta de secagem do caulim proposta é composta de três subunidades: o sistema de alimentação primária, formado pelo banco de painéis fotovoltaicos combinado com um grupo gerador movido a diesel; automação, comando, acionamento e controle da planta como um todo; e o forno industrial, como o seu respectivo sistema de comando e operação. A Figura 02 ilustra o esquema geral da unidade de secagem.

A unidade objetiva acelerar o processo de secagem da polpa de caulim, reduzindo tempo, gastos operacionais e aumentando a produção final. Com um custo operacional menor que a secagem tradicional (ao ar livre ou a fornos à lenha). O custo inicial é moderado e facilmente amortizado em poucos anos dependendo do empreendimento. Trata-se de uma unidade moderna, confiável, e economicamente viável, totalmente desmontável (para possíveis mudanças na mina ou mineradora) e de fácil instalação.

4. UNIDADE DE BENEFICIAMENTO NO MUNICÍPIO DE TENÓRIO-PB

Além dos objetivos citados, um de grande interesse é reduzir os impactos ambientais das atividades ligadas à desidratação tradicional, tais como, queima de madeira ilegal, poluição atmosférica, de lagos e rios e os riscos a saúde do trabalhador. Usando de uma fonte de renovável e abundante no nordeste brasileiro (energia solar) associada a diesel, visto que esta última não pode ser utilizada como única fonte de energia, pois pode comprometer a continuidade e confiabilidade do serviço.

O forno projetado é dotado de conjuntos de resistências espalhadas ao longo do forno associado com o sistema de ventiladores. O aquecimento direto do material dar-se pela transmissão de calor por contato direto, essa será o método usado para eliminação parcial da água e o aquecimento do ar responsável pela retirada final d'água até que o produto esteja em conformidade com a legislação vigente.

O forno industrial projetado pode ser entendido com um secador descontínuo, visto que trabalha com uma carga de material a secar fixa (batelada), alojada no interior do mesmo, com entradas de ar quente. O secador proposto pode ser encarado como um intercambiador de calor onde o corpo quente é o ar aquecido e o corpo frio, o material a secar.

De maneira geral, o dimensionamento do forno proposto consiste em determinar a quantidade de calor para aquecer o interior do forno e a quantidade de ar necessária para a secagem e as dimensões adotadas para o equipamento. Vale ressaltar que devem-se mensurar os seguintes dados de campo para o devido projeto, material a secar: sólido em peças, dimensões da peça, granuloso, suspensão ou solução, natureza textura, massa específico, calor específico, umidade inicial, umidade final e a produção da unidade.

As plantas da Figura 02, os dados de campo, o dimensionamento, como todas as outras informações técnicas referentes à planta piloto, para maiores detalhes consultar os projetistas responsáveis legalmente.

A planta piloto será montada na unidade de beneficiamento do caulim da GDS Minerações Ltda. localizada no município de Tenório-PB, na qual visitas técnicas foram realizadas, com o intuito de conhecer as instalações da unidade, bem como levantar dados prioritários para o correto planejamento de projeto, tais como: produção mensal da unidade, temperatura de secagem do caulim, dimensões e peso da torta de caulim, umidade inicial e final da torta entre outros. As informações levantadas em campo são apresentadas na Tabela I. Vale ressaltar que a unidade de Tenório possui secagem ao ar livre e a forno à lenha.

Tabela I - Dados técnicos da unidade de beneficiamento da GDS Minerações Ltda.

Informação	Característica I	Característica II
Produção forno a lenha	30 toneladas a cada dois dias (uma fornalha a cada dois dias).	450 toneladas por mês.
Produção ao ar livre	10 toneladas a cada três dias	100 toneladas por mês
Produção total mensal	-	550 toneladas por mês
Consumo de lenha	1 m ² de lenha para cada 1,5 tonelada	300 m ² de lenha mensal
Custo com lenha	Um caminhão de lenha (23 m ²) custa 850 R\$	Custo mensal de 11.087,00 R\$
Torta de caulim	52 cm de diâmetro	Peso: 10 kg
Dimensões do forno a lenha: 10 m × 20 m × 1,15 m	Dimensões da área de secagem ao ar livre: 10 m × 20 m	Área de secagem + depósito: 30 m × 60 m

Tempo de secagem	Forno: 3 horas para atingir a temperatura de operação + 12 horas de operação + 4 horas para esfriar parcialmente o forno.	Ar livre: Três dias de boa incidência solar.
Temperatura de operação	Forno a lenha: 150°C, resultado estimado.	Ar livre: ambiente
Umidade da polpa de caulim	Umidade inicial: 22,89%	Umidade final: 3,27%
Secagem no forno à lenha	Fragmentação da torta, e nenhum movimento quando no interior do forno.	Operários: 3 ao dia e 3 a noite.
Unidade de beneficiamento	Rejeito usado na construção civil.	Produção destinada para indústrias de tintas, cerâmicas e vidros.
Secagem no forno à lenha	Forno construído em alvenaria, com 15 bocas, cada qual com 1,3 m de diâmetro e 0,55 m de altura, 10 cm de tijolo acima da boca + 0,5 para depósito de material para secagem, 5 chaminés. A manutenção geral é feita anualmente, mas é feita uma manutenção rotineira para manter o forno.	Baixa quantidade de cinzas a cada fornalha cerca de 10 kg.
Unidade de beneficiamento	70% da matéria prima transformada em rejeito	30% da matéria prima, caulim comercializado.
Preço comercial	Polpa úmida: 70 R\$ a tonelada	Polpa desidratada: em média de 280 a 330 R\$ a tonelada.

Em análise efetuada nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte (especificamente nas áreas de mineração), identificou-se uma tentativa de avanço na secagem do caulim, é o caso de uma mina em Equador-RN, por meio de uma planta de secagem combinada lenha e diesel. Os dados dispostos na Tabela I serão usados como marco inicial para o correto dimensionamento da planta de secagem proposto.

4.1. Subunidade I – Alimentação Primária

A unidade de desidratação é atendida através de sistema trifásico a quatro condutores que saem dos painéis de comando localizados na sala de operação e controle. O sistema trifásico é alimentado por um banco de painéis fotovoltaico combinado a um grupo gerador formado por três geradores diesel, ambos dimensionados para atender a capacidade produtiva da mineradora (ou unidade de beneficiamento) e os serviços auxiliares. Cada fonte geradora é capaz de atender parcialmente a planta, essa será atendida totalmente pela integração das fontes energéticas.

Para o correto dimensionamento desta subunidade é necessário conhecer a produção da mineradora e suas instalações. De maneira geral o esquemático da geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos é descrito na Figura 03. Para garantir a máxima eficiência dos painéis usa-se de técnicas de regulação de potência, em especial o MPPT (do inglês, *Maximum Power Point Tracking*, Rastreamento ou monitoramento do ponto de máxima potência). Os painéis serão instalados sob estrutura móvel que acompanha o movimento do sol ao longo do dia, visando obter a máxima incidência solar ao longo do dia, fazendo o movimento num arco de 15° a 90°, estrutura-painel, das 8:00 h da manhã as 16:00 h da tarde.

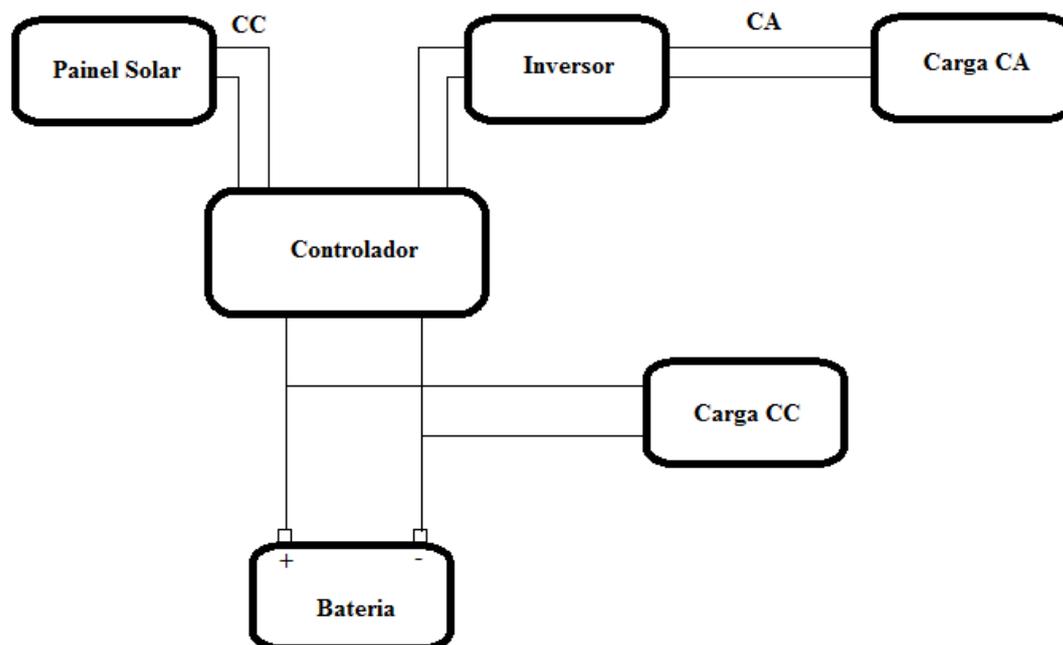


Figura 03 - Configuração do sistema fotovoltaico. Fonte: Adaptado de CRESESB (2006).

O grupo diesel-gerador é o conjunto formado por motor (es) diesel e gerador (es) de corrente alternada, oportunamente montados, dotados de componentes de supervisão e controle necessários ao seu funcionamento e destinado ao suprimento de energia elétrica produzida a partir do consumo de óleo diesel. São muitos os fatores a serem considerados antes da aquisição do equipamento adequado. Nível de ruído, capacidade de operar em paralelo com outro grupo ou com a rede local, tempo de partida, capacidade de partida e parada automática, telemetria e controle remoto, durabilidade estendida do óleo lubrificante, em muitos casos, são exigências inerentes aos consumidores a serem atendidas pelo equipamento. Em todas as situações, uma avaliação criteriosa deve ser feita como parte do projeto da instalação de um grupo gerador.

Para o correto dimensionamento do grupo gerador, devem ser respondidas algumas perguntas, tais como: Qual o tipo de carga? Qual o local de serviço? Quais as características do local? Quanto tempo os consumidores podem ficar desligados? Quais os riscos envolvidos no caso de uma interrupção do fornecimento de energia por defeito no equipamento?

Respondidas as perguntas anteriores o próximo passo é determinar a potência do grupo gerador, deve-se considerar a oportunidade da subdivisão da potência total requerida em vários grupos geradores de menor porte.

O grupo gerador é usado para garantir a continuidade do serviço nos dias de baixa incidência solar, quando houver baixa nas baterias ou na ocorrência de flutuações sustentadas na tensão gerada. Esse é composto de geradores trifásicos que alimentam o forno e o conjunto motor-esteira.

4.2. Subunidade II – Acionamento do Conjunto Esteira–Motor

As esteiras transportadoras são utilizadas em diversas aplicações industriais, com o propósito de providenciar um fluxo contínuo de materiais entre diversas operações, com economia e segurança de operação, confiabilidade, versatilidade e enorme gama de capacidades. Sua maior capacidade de atendimento às restrições ambientais é também outro fator que incrementa a utilização de correias transportadoras sobre outros meios de transporte. Podendo suportar cargas de elevado peso e por longas distâncias, utilizando para isso várias etapas. Podem ser utilizadas para transporte de todo tipo de material, em diversas áreas da economia, como em indústrias alimentícias, automobilística, gráfica, farmacêutica, mineração, metalúrgica, ferro e aço, em portos e aeroportos, no transporte de mercadorias e de pessoas, entre outras. Podem ser horizontais ou inclinadas.

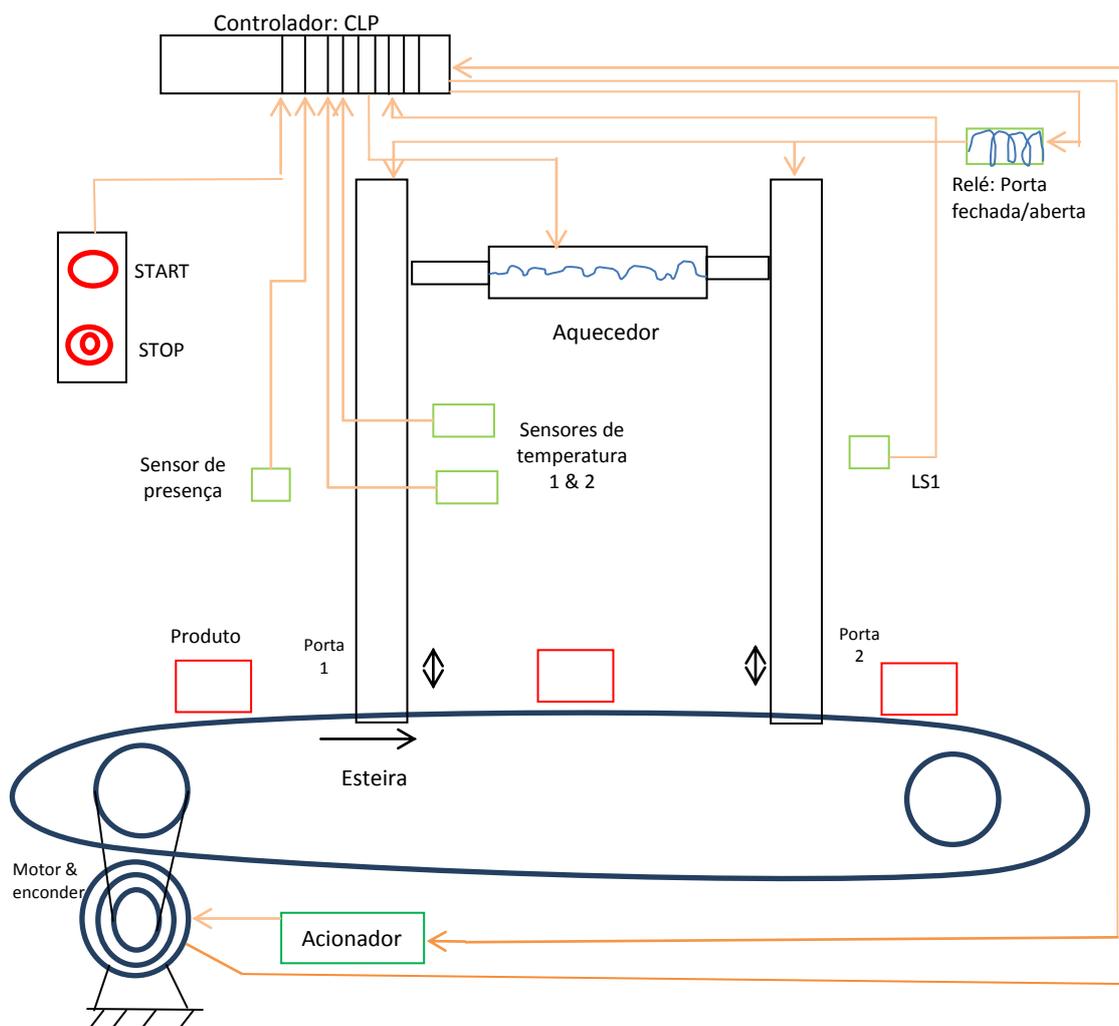


Figura 04 - Controle com CLP (lógica e controle em malha fechada) do forno e do motor para esteira.

A esteira pode ser controlada por um Controlador Lógico Programável (CLP) para que faça movimentos e paradas programadas em pontos específicos, com aceleração e redução da velocidade. A otimização de uma esteira melhora o transporte de peças, adequando-o ao processo de produção.

Na Figura 04 é ilustrado o conjunto o motor-esteira e o respetivo sistema de controle. A esteira transporta a polpa (torta) de caulim para uma câmara de aquecimento. A torta é mantida dentro do forno de temperatura controlada durante certo período de tempo (programável) sob uma determinada faixa de temperatura (também programável). Em seguida, a esteira se move pela ação do conjunto *motor- encoder* para trazer uma nova torta de caulim. No processo, o CLP controla a temperatura do forno e a velocidade da esteira por meio do controle da velocidade do motor. Além disso, ele controla a abertura e o fechamento das portas do forno, assim como a posição da torta dentro do forno usando um sensor de presença.

O controlador lógico programável (CLP, do inglês, *Programmable Logic Controller - PLC*) é a plataforma padrão de fato utilizada nas aplicações de controle industrial, de automação fabril, de máquinas automáticas e de controle de processos. É uma ferramenta barata, de baixa manutenção e de fácil implementação e programação (geralmente, a linguagem *Ladder*, *TLP Logixpro Simulator*). Todo CLP inclui uma ferramenta de software de desenvolvimento que permite a comunicação entre um PC (Personal Computer) e o CLP, o desenvolvimento do software aplicação, a depuração, a carga de programas e a realização de testes (etapas do modelo de execução de um programa *Ladder* em um CLP) (adaptado de Cetinkunt, 2007).

O motor usado para mover a esteira transportadora pode ser um motor de indução trifásico da Classe C, que apresenta conjugado de partida alto, com baixa corrente de partida, tendo bom rendimento e alto escorregamento.

4.3. Subunidade III – Forno Industrial

De modo geral os fornos elétricos são agrupados em três grupos distintos, cada um com suas características de processamento e operações. Nos complexos industriais encontramos fornos a resistência elétrica, fornos por indução e fornos a arco. Todos apresentam potência elevada, preocupando as concessionárias de energia elétrica.

Fornos a resistência elétrica são aqueles que utilizam o calor gerado por perdas Joule numa resistência elétrica que é atravessada por uma corrente elevada. São constituídos de dois tipos indicados para diversas aplicações nos processos industriais, fornos de aquecimento direto e de aquecimento indireto (Mamede, 2010).

O forno proposto pode ser entendido como um forno do tipo aquecimento indireto, visto que o material a ser trabalhado está no interior do forno isolado termicamente, e o calor é transmitido da resistência elétrica através dos fenômenos de condução, convecção e irradiação.

Algumas características devem ser consideradas para o correto dimensionamento do conjunto de resistências bem como o material de que o forno é constituído, dentre elas: ter uma elevada temperatura de fusão, na ordem de 25 % superior a temperatura de fusão do material a ser trabalhado; ser resistente a corrosão na temperatura de operação; ter resistividade elevada; apresentar um elevado grau de dureza em altas temperaturas (Mamede, 2010). Pode-se citar as resistências de Nicromo V, Cromax e Kantal constituindo as resistências ou fitas dispostas no formato espiral, como exemplo de materiais que atendem as características citadas.

O conjunto de resistências é distribuído ao longo do forno ligado em série e em paralelo de forma simples, em circuitos trifásicos, arranjos na configuração estrela aterrado, pois reduz a quantidade de material resistor. Para o cálculo da seção (bitola) do condutor (resistência) deve-se levar em consideração o fato que se deseja transferir a maior taxa de potência cedida por unidade superficial e que a distribuição de calor ao longo do forno seja uniforme. Evitando assim, que em partes do forno a torta fique seca antes das outras partes.

Com o intuito de garantir uma distribuição uniforme de calor deve ser realizado um estudo de temperatura, por meio de simulação numérica específica para avaliar os gradientes de temperatura no interior do secador.

5. AVALIAÇÃO DE INVESTIMENTO

Identificar características como, benefícios; possibilidades de fracasso; o ciclo de vida e suas fases até a finalização são essenciais na elaboração de um projeto. Levando em consideração a temporariedade, a individualidade do projeto ou do serviço a desenvolver, a complexidade e a incerteza.

Fazer uma decisão de investimento quando não existe incerteza presente é rápido e fácil, basta recorrer a métodos de cálculo de retorno de capital, tais como, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa de Retorno Interna (TIR) e escolher a alternativa que apresentar maior retorno. No entanto os projetos envolvem riscos e incertezas e a tomada de decisão deve ser feita com base em estudos de viabilidade econômica, pela qual a incerteza envolvendo as principais variáveis projetadas num modelo de previsão é processada para estimar o impacto do risco sobre os resultados projetados.

O objetivo da análise econômica de riscos é avaliar as chances econômicas do projeto de investimentos proposto. São técnicas usadas para calcular os retornos esperados baseados em projeções de fluxo de caixa das variáveis do projeto, inter-relacionadas. O risco resulta da incerteza envolvida nas variáveis de projeto. A avaliação do risco depende da habilidade de identificar e entender a incerteza e das técnicas usadas para estimar as consequências e as soluções para o risco envolvido.

Para a planta de secagem proposta foi realizado estudo econômico desprezando o risco (métodos de retorno de capital - VPL e TIR), o qual se mostrou satisfatório. Avaliação de risco para o projeto proposto está sendo realizada, bem como comparações de custo entre a planta proposto e a planta tradicional.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução proposta para secagem do caulim usando energia solar diesel de maneira combinada mostra-se eficiente, confiável, executável e economicamente viável. Reduzindo impactos ambientais e ao mesmo

tempo garantindo uma redução no tempo da secagem, conseqüentemente aumento da produção da unidade de beneficiamento.

A planta piloto encontra-se em estágio de dimensionamento, sendo feitos os estudos de distribuição de calor, listas de materiais a serem utilizados, desenhos técnicos e elaboração de planilhas de execução. A fase de levantamento de dados de campo já foi realizada.

Estudos apontam que a implantação da unidade de secagem proposta na GDS Minerações Ltda. irá reduzir o tempo de secagem da produção a cada fornalha (40 toneladas) de caulim para metade do tempo feito no forno a lenha (6 horas, estimativa e meta de projeto) e o investimento inicial será amortizado em poucos anos (estimado em 10 anos e considerando a taxa de inflação do país), apresentando gastos mínimos com manutenção e utilização de poucos operadores.

Ainda que a planta piloto esteja sendo direcionada para uma unidade de beneficiamento específica, pode ser projetada para outras unidades, não dispensando uma consultoria técnica e projeto específico para cada unidade pela equipe projetista.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). À GDS Minerações Ltda. localizada no município de Tenório-PB, por meio de seus representantes legais, Sr. Carlos Antônio Dantas e Sra. Adriana de Sousa Dantas. À Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica e à Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia da Universidade Federal de Campina Grande.

8. REFERÊNCIAS

- Cetinkunt, Sabri. 2007. Mechatronics. John Wiley & Sons, USA.
- Costa, E.C. 2007. Secagem Industrial. Edgar Blucher, São Paulo, SP.
- CRESESB. 2006. Energia Solar - Princípios e Aplicações. CEPTEL - Eletrobrás, Tutorial.
- Fitzgerald, A.E; Kingsley, C. e Umans, S.D. 2006. Máquinas Elétricas. 6ª Edição, Bookman.
- Mamede Filho, J. 2010. Instalações Elétricas Industriais. 8ª Edição, LTC, Rio de Janeiro, RJ.
- Rocha, R.M. *et al.* 2002. Caulim - Mineração de Caulim de Monte Pascoal S/A. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Rio de Janeiro, RJ.