



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

APRIMORAMENTO DE UM PROCESSO DE TRITURAÇÃO PARA A RECICLAGEM DE LIXO

Cynthia B. Scheffer-Dutra, cynthia@ifsc.edu.br
Anderson F. Burigo, afburigo@gmail.com

Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis, Rua Mauro Ramos, 950 - Florianópolis/SC

Resumo: Ao observar um processo de trituração de lixo, especialmente o utilizado nas primeiras etapas de um processo de transformação de lixo industrial em combustível, percebeu-se a necessidade de melhorar o controle desta trituração, utilizando como base, modelos de comportamento com o poder de interpretar situações físicas através de leituras dinâmicas. O controle trata a velocidade e o sentido de rotação de dois eixos ferramenta, utilizados no núcleo deste processo de trituração.

Utilizando como referência a pressão no sistema hidráulico, o processo altera automaticamente a forma de rotação dos eixos, conseguindo assim, prever onde tem material em boa quantidade e decidindo como cortá-lo. A ideia surgiu na observação de vários tipos de material sendo triturados, onde se aplicaram alguns métodos de controle sequencial e se subentendeu que cada material necessita de um modelo de trituração, quando é possível fazer uma analogia entre o modelo e a leitura de pressão, pode-se converter a forma com que o equipamento atua sobre ele.

O resultado foi o aumento no índice de produção, o comportamento dos rotores é proporcional ao conteúdo de material disposto sobre eles. A trituração ocorreu com mais uniformidade e a ação de deterioração das ferramentas diminuiu, possibilitando maior vida útil dos rotores.

Palavras-chave: Trituração, controle, resíduo, automação.

1. INTRODUÇÃO

O mercado de reciclagem de lixo em um processo específico de transformação de resíduos em combustível reverte um problema social em uma solução alternativa ao ramo de geração de energia. Este processo vem sendo aplicado de maneira mais intensa nos últimos anos e deste modo, consome parte do lixo industrial oriundo de vários tipos de empreendimentos. Resumindo o processo, este lixo é pré-triturado, classificado por tamanho e se necessário, triturado novamente. O resultado conhecido por “blending” pode ser comercializado de duas formas, uma no recebimento, outra na venda. Certificar que foi dado o destino correto ao resíduo traz ótimos rendimentos financeiros, além disto, executar contratos de fornecimento para empresas, as quais utilizam este combustível, torna tudo ainda mais lucrativo (Silva, 2013). Para as empresas a utilização do “blending” no aquecimento de caldeiras e fornos de diversos seguimentos, pode ser marcada pela aplicação de um combustível de ampla oferta. O ramo cimenteiro é o mercado que mais investe neste tipo de energia hoje no Brasil e isso se chama cogeração.

Com este grande potencial no setor, as tecnologias dedicadas vêm sendo idealizadas e se renovam a cada ano. Equipamentos trituradores costumam fazer o trabalho mais pesado em meio a este processo ou o que mais consome energia, para tanto, são equipamentos grandes e que imprimem ritmo a produção. Em processos de trituração, normalmente equipamentos são dimensionados para o material que trituram e não são flexíveis. Em resíduos derivados do lixo, o material a ser descaracterizado é muito diversificado, podendo variar muito em sua densidade e volume. O controle de trituração que será detalhado nesta pesquisa, baseia-se em um equipamento já concebido e com a flexibilidade mecânica necessária para trabalhar com o lixo em geral, porém sua atual forma de controle necessita de melhor elaboração, para que com isso traga mais rendimento à produção. Este equipamento conta com dois rotores, ou eixos ferramenta, que instituem a parte mais objetiva do equipamento, a trituração. Estes rotores trabalham com as ferramentas intercaladas umas contra as outras, tracionando e pressionando o material que se desintegra. Conhecendo o processo, torna-se possível inserir um controle dinâmico sobre estes rotores presentes em trituradores. Este citado controle, busca tratar de forma inteligente o direcionamento dos rotores de corte, obtendo maior rendimento com o mesmo consumo de energia. Devido ao formato necessário da câmara de trituração e a diversidade de tipos de materiais que são depositados para serem triturados, fica impossível prever os pontos onde a demanda de força seja maior e necessário trabalho dos eixos em conjunto, porém tendências podem ser delineadas com base em uma referência do processo e com isso, antecipar a ação sobre o resíduo.

Aproveitando o conhecimento adquirido com os modelos já aplicados que serão mencionados, se busca a aplicação de inteligência ao sistema, onde o equipamento poderá aprender com o resíduo disposto em suas ferramentas, selecionando com raciocínio baseado em regras, a melhor forma de atacar o resíduo ou a inferência sobre o sistema.

Citando (Bolton,2010): “A inferência ocorre como resultado do raciocínio sobre os fatos de entrada combinados com as regras, e as decisões são enviadas aos atuadores”. Assim, a forma de controle sobre os eixos ferramenta pode se alterar automaticamente, dispensando a interferência do operador e outros ajustes de cunho mais técnico, com o objetivo de ganhar produção.

2. JUSTIFICATIVA E OBJETIVO

O setor de transformação de lixo em energia vem expandindo o investimento buscando sempre uma maior produção com menor consumo de energia. O resíduo gerado por este processo não é estocado, o alto poder calorífico dos materiais e a diversidade possibilita a autocombustão, necessitando uma produção contínua, onde o material é escoado conforme é produzido, demandando os melhores índices de produção possíveis. Elevar o poder de produção sempre é um tema principal desde o início do projeto de máquinas produtivas. Com esta iminência, instaurou-se o desejo de aplicar um método de controle, capaz de possibilitar a melhoria de produção de um pré-triturador fabricado pela Bruno Industrial Ltda, empresa parceira na pesquisa. Este equipamento encontra-se sempre no início da linha, com isso, sua produção fornece matéria para as demais, o seu processo pré-tritura os resíduos e só assim permite que possam adentrar aos demais processos de classificação e granulação, sendo assim, o melhor desempenho do equipamento, estará baseado no incremento da produção.

Com o conhecimento do processo e de lógicas de controle, observou-se possibilidade de inserir algumas regras que certamente impactariam no aumento de produção. A ampliação do tamanho do equipamento com certeza atingiria o objetivo principal da pesquisa, porém o tema abrange mais o rendimento do que o volume. O uso de estratégias de controle e automação permitem encontrar formas de atuação sobre o sistema, de maneira que a otimizar a produção.

Este projeto tem como objetivo principal criar e aplicar um método de controle mais eficaz em processos de trituração de lixo industrial e com isso melhorar o custo benefício final do equipamento. Aproveitando-se da tecnologia existente e já aplicada em equipamentos pré-trituradores ou PTBH do fabricante Bruno Industrial, pretende-se efetuar uma intervenção na atual lógica de programação, realizado através de CLPs (controladores lógicos programáveis) e com isso criar um novo ideal de controle automático para a máquina. Este ideal significa acrescer maior capacidade de trituração de resíduos em um menor espaço de tempo, comparado aos equipamentos comercializados atualmente, produzindo mais com menos energia e menos desgaste mecânico.

3. PROCESSO DE TRITURAÇÃO NA RECICLAGEM

O co-processamento é o nome que se dá a o processo de destinação de resíduos sem a geração de passivos ambientais. É uma destinação final ambientalmente adequada. Nesta destinação é realizada a queima do resíduo já em formato de combustível e as cinzas e dejetos provenientes desta queima são misturados no processo de fabricação do cimento. Este processo no Brasil é licenciado por órgãos ambientais competentes e é realizado desde o início de 1990. Em países mais desenvolvidos já se utiliza a quase quarenta anos (BBC,2014). As empresas cimenteiras apenas recebem o resíduo para o processo final, mas antes de chegar nestas empresas o resíduo precisa ser manipulado.



Figura 1. Foto do equipamento pré-triturador PTBH. Fonte: Bruno Industrial Ltda.

O triturador PTBH, mostrado na fig.1, participa como uma peça chave na manipulação deste resíduo, em plataformas ou linhas de co-processamento, ele é o primeiro da linha. O lixo ou resíduo sólido é depositado para trituração em sua caçamba, onde é triturado com o propósito principal de diminuir o volume ou particular o material que vem com diversas geometrias e de diversos tipos de material. Deste ponto em diante segue o ciclo de transformação. O material é classificado, separado, misturado e novamente triturado se necessário, obtendo todo este processo dentro da própria linha de produção. Ao final o material sai granulado de acordo com a determinação de tamanho desejado pelo empreendedor ou tamanho exigido pelo processo de incineração.

A empresa Bruno industrial, entre outros tipos de equipamento, fabrica pré-trituradores PTBH para trabalharem sozinhos ou em série com mais equipamentos de sua fabricação, como no caso de plantas de co-processamento que pode ser vista na fig.2. Estes PTBHs contam com dois rotores, repletos de ferramentas de corte intercaladas, os quais giram pela força transmitida oriunda de motores hidráulicos, tendo a hidráulica como principal fundamento de força do sistema.

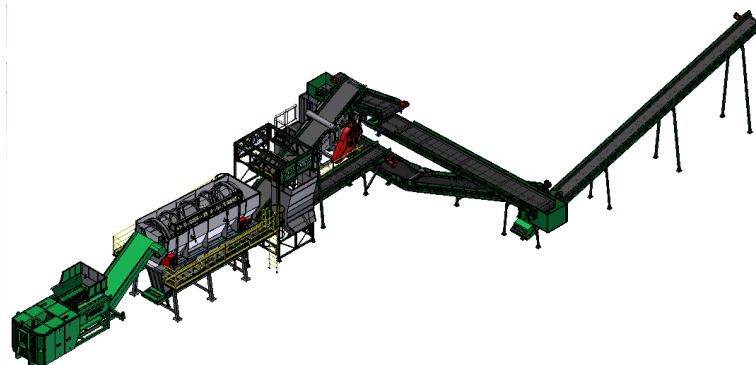


Figura 2. Exemplo de layout de uma planta de co-processamento de resíduos – PTBH destacado em verde.

Devido a manutenção de alta especialidade, sensores e pressostatos são espalhados por todo o equipamento, com o intuito de proteger as peças mais custosas e facilitar a identificação de problemas. Como o pressostato é uma chave comandada pela pressão, através de interface dedicada, bastam alguns cliques para iniciar a operação que atualmente é automática e feita por seleção de modo de operação, o que permite fazer alterações pontuais no sequenciamento do trabalho dos rotores. Em momentos de paradas, alarmes são gerados possibilitando via interface entender os motivos e tomar as providências.

Estes equipamentos PTBH são configurados e vendidos de acordo com a necessidade do cliente. No entanto, há muitos casos de aplicação de modelo padrão, onde pode diminuir o volume de materiais específicos, geralmente madeira de resto de construção civil, vidro, cabos de cobre e outros, mas sempre de forma homogênea. A principal diferença nas configurações está no tipo das ferramentas que são instaladas nos rotores assim como a folga entre elas.

Uma configuração que ganha cada vez mais mercado são rotores para lixo industrial. A empresa comercializa este equipamento em conjunto com outros que separam e diminuem ainda mais o volume, possibilitando a mistura que enriquece o poder calorífico do produto final. Para ambas as configurações de equipamento PTBH, o sistema de controle deve ser um só, alterando apenas a forma de trabalhar dos eixos ferramenta.

Considerando um triturador, este deve possuir de alguma forma, um mecanismo responsável diretamente pela trituração. No caso deste PTBH, estes mecanismos de trituração são os eixos ferramenta ou rotores, que giram pela força de motores hidráulicos, conforme mostra a fig.3. Devido à sua geometria, estas ferramentas em movimento de rotação, comprimem o material disposto de acordo com o sentido que estiver sendo empregado. Em ambos os sentidos, peças fixas dispostas em formato de pente, servem de contra faca, auxiliando a trituração. Os materiais empregados para a fabricação dos componentes deste sistema são específicos, mesmo assim o desgaste ocorre ao longo do tempo devido ao atrito de todo o conjunto com o material sendo triturado.

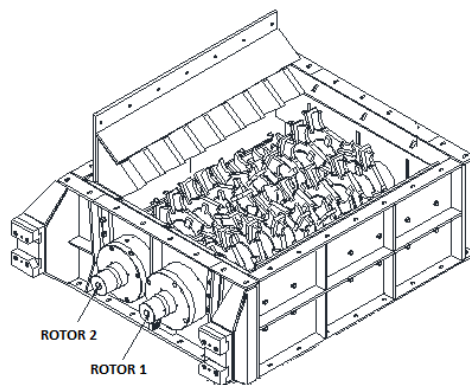


Figura 3. Ilustração dos eixos ferramenta do PTBH.

Para o desgaste mais expressivo, além do atrito constante, prensar material com os mais diversos abrasivos com força total também leva os componentes a trincas e rupturas, quanto maior a força aplicada em casos de necessidade, mais desgastante se torna o processo. No pente central, que pode ser visto na fig.4, onde este retém o material dos dois eixos, a força resultante quando os dois eixos trabalham no sentido de avanço, coincide com o maior pico de força

possível do processo de trituração. Sempre que for possível evitar esforço excessivo ao processo, estará aumentando a vida útil das peças envolvidas no atrito de trituração.

O formato das ferramentas destes eixos, assim como o espaçamento por onde o material escoar, pode ser flexível, ou seja, fabricado de acordo com o material que vai ser triturado, isso sem dúvida facilita muito o processo de trituração, porém busca-se trabalhar principalmente na melhoria do processo quando o equipamento inserido em um ambiente com uma diversidade grande de material. Estes rotores são flexíveis em sua fabricação, porém a mão de obra para a substituição em tempo de produção está fora de questão, pois além de tudo, demandaria uma separação do resíduo antes da trituração.

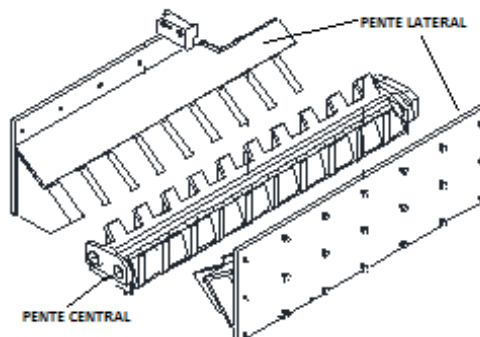


Figura 4. Detalhe dos pentes de corte do PTBH.

Os eixos ferramenta estudados, possuem uma característica em termos de formato e número de ferramentas a qual se julga genérica a todo o tipo de resíduo que não contenha metal em excesso ou outros elementos não passíveis de corte ou esmagamento. Este tipo de eixo ferramenta é aplicado em máquinas com a configuração de tritar lixo industrial.

Os acionamentos elétricos no equipamento como um todo, são em sua maioria simples, a potência total instalada não ultrapassa os 200Kw. Os dois motores principais são os únicos de maior potência, cerca de 90Kw cada, o acionamento se dá por partida eletrônica soft starter, a qual faz uma rampa de tensão e controla a corrente na partida de cada motor. Concluída a partida do motor, a chave continua a monitorar o estado do mesmo, permitindo ao controle saber se o motor está ligado mesmo e quais as condições de seu trabalho. Os demais motores partem de forma direta, por serem de baixa potência, apenas a monitoração de sobrecarga é possível, feita pela leitura de estado dos disjuntores. Alguns acionamentos são feitos também através de relés, por se tratarem de acionamentos em 24Vcc, como as válvulas de comandos hidráulicos e sinais do controle remoto (Pazos,2002).



Figura 5. Foto do painel elétrico do equipamento PTBH. Fonte: Bruno Industrial Ltda.

Todos os acionamentos do equipamento são executados pelo controlador ou computador industrial, com exceção do sistema de segurança. A preocupação com a segurança, também envolve a elétrica, possuindo no painel elétrico, componentes dedicados para este fim. Contactoras de corte da energia dos motores e CLP de segurança, que com lógica dedicada, garante o desligamento dos motores em uma situação de parada de emergência. No Brasil, o CLP de segurança ou relés de segurança, passaram a ser exigidos por lei do ministério do trabalho, que leva em consideração a EN14122 – Segurança de Máquinas.

O painel elétrico do PTBH, vista na fig.5, é alocado no interior do equipamento, porém para operação todo o comando necessário pode ser praticado também através de controle remoto, o equipamento contempla um sistema de rádio controle remoto, com seis funções mais botão de emergência, que permitem a operação do sistema em distância

segura em casos onde o equipamento trabalha sem sistema supervisorio externo. Dentre as funções remotas, estão o comando da caçamba, que despeja o material sobre os rotores, função de liga e desliga em cascata e três funções sobre os rotores, avança, para e reverte, sobrepondo-se a lógica de controle do modo em que se está operando. Diversos sinais de estado dentro do painel e sinais de instrumentos espalhados pelo equipamento são passíveis de monitoramento. Por ter como principal sistema a hidráulica, o nível e temperatura do óleo, são muito importantes, travando o funcionamento do sistema caso os valores fujam do padrão de trabalho pré-definido. Outros elementos, como confirmação da lubrificação contínua e automática e o estado de saturação dos filtros de óleo, ajudam a identificar com facilidade os pontos que exigem manutenção, além de proteger o equipamento, quando à manutenção em empresas com carência de planos específicos para este fim (Georgini,2009).

O controlador utilizado em linha de fabricação dos PTBHs está na categoria de computador industrial, o modelo é o CP6200 do fabricante Beckhoff (Beckhoff,2015), com sistema operacional embarcado Windows CE, nesta plataforma roda sistema SCADA do fabricante InduSoft (InduSoft,2015). O computador industrial possui tela colorida e sensível ao toque, todo este conjunto permite uma grande flexibilidade em termos de controle e interface. Na operação o sistema pode trabalhar em modo manual ou em alguns modos automáticos. Em modo manual, cada componente pode ser individualmente acionado e sem bloqueio, a menos que variáveis de tensão, temperatura e nível de óleo sejam críticas. Nos modos automáticos, o acionamento sempre faz uma cascata de partidas e consideram algumas entradas para identificar possíveis falhas no sistema, os modos automáticos atuais podem ser divididos em três: modo madeira, modo lixo e modo especial.

Cada modo de operação processa o resíduo de uma forma diferente. No modo madeira, a ideia é triturar além de derivados quase homogêneos de madeira, outros tipos de material com rotores adequados. Este modo contempla a direção dos rotores em sentido sempre de avanço e com velocidade fixa e definida pelo operador, quando o avanço é comprometido pelo excesso de pressão, os rotores revertem em conjunto e automaticamente por um determinado tempo e ao final deste, voltam a avançar. A produção é excelente quando em resíduos homogêneos. Na reversão, este modo não considera a pressão máxima.

No equipamento PTBH, como já descrito, os componentes de automação são flexíveis, a fig.6 mostra a tela utilizada para o acionamento do modo madeira. Esta tela faz parte do sistema SCADA presente, o qual possibilita a interface entre o operador e o equipamento. Existem telas similares para os demais modos.



Figura 6. Tela de acionamento do sistema SCADA (modo madeira).

No modo lixo, os rotores se comportam da mesma maneira que no modo madeira, porém dentro de uma periodicidade, os rotores se comportam em um modelo que segue uma sequência de reversões individuais, no intuito de limpar o lixo que fica preso nos rotores e eliminar o resíduo depositado em locais não atingidos pelos rotores em avanço contínuo. Este modelo não é muito utilizado, seria indicado na trituração de lixo, mas o modo especial tem se mostrado mais eficaz para este tipo de material. A pressão máxima é monitorada apenas no avanço e cada rotor faz a reversão conforme sua pressão máxima.

O modo especial tem sido o modo mais utilizado pelo processo de trituração de lixo industrial, neste modo é possível elaborar uma receita baseada em tempos parametrizáveis de avanço e retorno individual dos rotores. A pressão máxima nos rotores é monitorada e a reversão destes acontece individualmente. Neste modo se observou que é possível obter mais produção se alternar o sentido de trabalho dos rotores em momentos pontuais ao longo do processo, porém seu funcionamento segue passos receitados e não tem referência do processo. Nas aplicações, uma receita é ajustada para haver variação contínua do sentido dos rotores, quanto deve ser esta variação, vai de encontro ao tipo de resíduo triturado. Apenas operadores com experiência conseguem interpretar qual receita usar para cada lote processado, além de ter de definir os valores desta receita o que é um ponto ruim para este método de controle.

Todos os modos de operação em automático contemplam possibilidade de alterar a velocidade individual de cada rotor, porém esta velocidade é fixada pelo operador e trabalha sempre com o mesmo valor até que seja novamente alterada. Outra funcionalidade é a reversão pela máxima pressão, em todos os modos ela é considerada, mas apenas pode ser lida pelo controle e fisicamente, quando os rotores estão avançando.

4. APRIMORAMENTO DO PROCESSO DE TRITURAÇÃO

Com base na experiência adquirida ao longo da pesquisa, informalmente coletando informações com clientes e colaboradores, observando o processo de trituração de diversos materiais com o PTBH e também informações técnicas, teorias estudadas e medições realizadas em forma de gráficos, obteve-se a possibilidade de delinear sobre um modelo de trituração ideal baseado em regras. Este modelo deve ser capaz de interpretar os sinais de pressão, medidos nas quatro linhas que imprimem força aos eixos ferramenta.

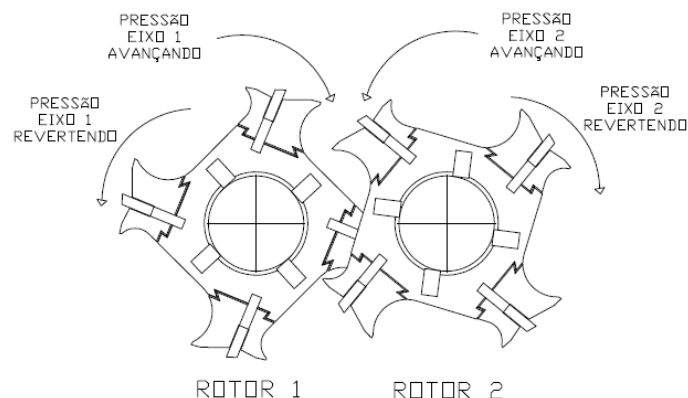


Figura 7. Ilustração dos rotores com indicação da variável de pressão.

De acordo com a fig.7, cada eixo possui dois lados de trituração, sendo que no centro, compartilham da soma de suas forças. O princípio da ideia surgiu na imaginação de dividir a câmara de trituração em quatro partes, relacionando a pressão em cada parte, com a leitura de pressão naquele momento. O valor da leitura é proporcional a carga no lado de operação medido.

A substituição do pressostato de contato seco por conjunto de pressostatos analógicos, permitiu para a lógica de controle, obter as devidas referências do processo. Estas referências associadas as variáveis de velocidade dos rotores e sentido de giro, foram os elementos necessários para a implementação da ideologia. Nesta metodologia adotada, a investigação partiu de uma analogia baseada em gráficos, onde eles representam o volume de material em cada lado dos eixos, com isso se estabelece valores limites para classificação da regra a ser seguida. Estes gráficos são alimentados com o valor de pressão obtido a cada momento.

O reconhecimento das informações ou aprendizado através da leitura de pressão, deve se tornar referência para as instruções e a principal fonte para o modelo. A ideia é classificar faixas de pressão e criar regras para a ação conforme esta classe. De acordo com o observado até aqui, alguns pontos do funcionamento mostram que as deduções são bastante visuais, ou seja, quando se observa o equipamento triturando, pode se defender alguns pontos de vista que são fundamentais para o modelo. No ato de trituração, quando os rotores giram para um determinado lado, levam com eles o resíduo que se encontrava no lado contrário, sendo assim, este lado contrário deixa de ter material na mesma quantidade. Outras regras também foram adicionadas, pois a observação deixou claro que a vazão de óleo sendo acelerada gera uma produção maior, porém também é observado que uma diferença de velocidade entre os dois eixos ajuda a processar melhor o material que tracionado com velocidades diferentes se rompe antes.

A inversão de sentido entre os rotores, também é um método eficaz de produção, um rotor avançando e outro retornando gera um golpe nos dois sentidos do material como uma espécie de guilhotina. Existe ainda momentos de ausência de medição de pressão no sentido que não está acionado, ou seja, se o rotor um está em sentido de avanço, não é possível saber a pressão no sentido de retorno, pois ela só será mensurada, se o rotor estiver indo para o seu lado. Com este fato, teve de ser definido um coeficiente de queda de pressão por tempo, para que o software possa deduzir qual seria a pressão no outro lado e com isso ajudar nas tomadas de decisão.

Cada eixo ferramenta pode ir até um valor máximo de pressão em cada lado, esta é uma definição de projeto mecânico e torna-se valor limite ou máximo em nosso modelo. O limite mínimo considera uma banda morta, a pressão parte de zero e se estabiliza em um valor médio que é a medição da pressão necessária para fazer o movimento sem material triturando ou fora de operação. O modelo assim deve ignorar esta perturbação que indica apenas o funcionamento em vazio dos eixos.

A analogia de que as entradas são a pressão de cada linha e que elas alimentam de forma proporcional cada parte da câmara de trituração, faz entender que quanto maior a pressão nas linhas, mais material ou material mais denso ali existe, no detalhe das respostas transientes e estacionárias, se define o que fazer em certas gamas de pressão, o sistema aprende com o processo e passa a agir de forma que possibilite tritar com mais velocidade no sentido que

trará mais rendimento. O raciocínio baseado em regras, geralmente tem seu modelo considerando afirmativas “se-então”, nas quais a lógica pode encontrar decisões que tornam o processo mais qualificado.

Em resumo, para a seleção de lado de sentido de rotação dos rotores, a lógica deverá considerar primeiro a classe de pressão em que se encontra o eixo verificado, como inicialmente os rotores avançam e reverterem para buscar valores de leitura, deste ponto em diante decisões podem ser tomadas a cada intervalo de tempo ou devido a mudanças bruscas de pressão. Será considerado sempre um intervalo de 3,5 segundos entre cada tomada de decisão, para assim conseguir a estabilidade e produção contínua. As classes são comparadas com as regras, as regras é que dão inteligência ao sistema, considerando os princípios fundamentais e o comportamento observado.

O sentido de avanço geralmente atinge melhores índices de produção, o trabalho dos rotores deve priorizar este sentido sempre que possível, quando o trabalho for com um material mais leve, esta prioridade pode fazer com que os rotores não revertam, sendo assim eles deixam de limpar parte do resíduo acumulado no centro do eixo, a reversão também proporciona esta limpeza, pois os pentes têm seu outro lado acionado desta forma. Os valores definidos para as classes objetivam fazer os rotores procurarem o material quando em baixa pressão e cortar melhor o material em alta pressão.

No intuito de simplificar o entendimento e traçar uma rotina ao novo algoritmo de controle, foram expressos alguns passos que devem ser realizados pelo equipamento no início de sua operação.

i) Sempre que ligar o equipamento para iniciar o trabalho, os rotores farão avanços e retornos individuais de três segundos cada, no intuito de identificar a pressão existente em cada lado. Neste passo já é realizada a leitura de pressão, que é filtrada e registrada de acordo com o lado que o rotor girou. Indiferente da sequência que o rotor estiver exercendo, em paralelo, sempre haverá a monitoração da pressão máxima, podendo por esta premissa mudar o movimento a qualquer instante.

ii) A partir deste ponto, o trabalho deverá ser baseado nas informações recebidas, estas informações caracterizaram o primeiro aprendizado do controlador, que registra e associa os lados de rotação as classes definidas.

iii) Caso não exista alteração no sentido de rotação de nenhum rotor em um intervalo de um minuto, uma sequência de reversões de limpeza deve ser ativada.

O algoritmo, doravante chamado “Modo Sentido Variável” possui raciocínio baseado em regras, sendo assim estas serão expressas conforme a sequência:

a) Se a pressão medida for superior aos trezentos bar em qualquer lado, reverter o sentido de giro. Se a reversão por este motivo ocorrer nos dois lados de um único eixo por uma sequência de 3 vezes em cada, um alerta deve ser gerado, pois este parece estar preso ou travado, o equipamento deve parar os dois rotores.

b) Quando os dois rotores estiverem avançando, o primeiro que iniciou neste sentido, estará em velocidade máxima, cerca de 32 rpm, enquanto que o outro com 10% a menos de velocidade. Velocidades diferentes ajudam a rasgar o material.

c) Sempre que um rotor estiver revertendo e outro avançando, o que faz a reversão trabalha com uma velocidade 10% menor que o do avanço, que estará em velocidade máxima. Se os dois rotores estiverem revertendo, acelera-se a velocidade máxima o que reverteu antes.

Os testes de validação do algoritmo foram realizados com a simulação de entrada de valores de pressão utilizando o controlador lógico programável juntamente com o sistema SCADA, possibilitando visualizar o comportamento do software de controle e comparar com as regras que foram definidas no modelo obtido com a pesquisa. Dentre as principais funções da nova lógica, está a classificação dos valores de pressão mensurado. Logo, na tela da fig.8, percebe-se a indicação da classe em que a pressão se enquadra, aparece também o sentido dos rotores e a variável de pressão registrada. Esta interface rodando em conjunto com a lógica definida para o sistema, permitiu testar as ações do software ao receberem simulação de pressão. A lógica obteve um comportamento ideal e a interface para esta avaliação foi uma excelente ferramenta nesta construção.

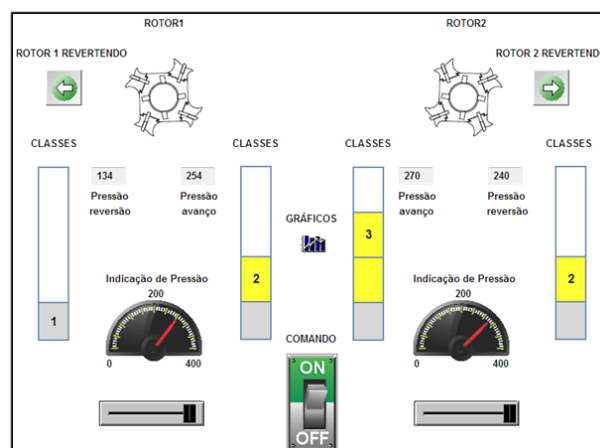


Figura 8. Tela projetada para simulação da lógica.

5. RESULTADOS COMPARATIVOS

O lixo industrial neste processo de trituração para cogeração, em sua variedade de tipos de matéria como resíduo, demonstra que cada região ou empresa que o trata, possui uma gama diferente de material. Partindo deste princípio, sempre se farão necessários ajustes ao equipamento, definindo parâmetros que possam ter uma relação com o tipo do resíduo. Iniciando as deduções sobre os testes de produção, para todos os testes a seguir, foram utilizados resíduos provenientes de uma mesma origem, já que os resíduos dependem muito da densidade dos materiais processados. Uma medição em metros cúbicos é mais indicada para representar o volume de produção. Para possibilitar a medição desta maneira, foi utilizado como métrica a trituração de caçambas de transporte que suportam 15 m³. Utilizando o equipamento PTBH, uma série de medições processando lixo industrial foram realizadas. Cada um dos modos de operação do equipamento foi testado, sendo eles o modo madeira, modo lixo, modo especial e o modo objetivo da pesquisa, o modo sentido variável.

5.1. Medição de produção com lixo industrial em “Modo Madeira”

Neste material, a primeira bateria de testes, foi conduzida utilizando o modo madeira, com a característica de avanço contínuo e retorno por máxima pressão. Com este modo em operação, o material tende a ir todo para um lado, o lado do centro. Com o volume grande de material neste centro, este não é despachado na mesma medida em que entra, forçando os rotores a reverter, como neste modo os dois rotores revertem ao mesmo tempo pela pressão máxima, o mesmo acontece com o material no outro lado de cada rotor, porém neste lado não é considerado a pressão máxima, apenas tempo, o que resultou ficar às vezes com o rotor parado. O resultado médio de tempo de produção no “modo madeira” foi de 8 minutos e 45 segundos, registrados na tab.1.

Tabela 1. Registro de amostras colhidas em teste triturando lixo industrial em “modo madeira”.

Amostra	Modo de operação sendo executado no equipamento	Tempo de produção em minutos	Quantidade produzida aproximada em m ³
1	Modo "Madeira"	8'31"	15
2	Modo "Madeira"	9'10"	15
3	Modo "Madeira"	7'50"	15
4	Modo "Madeira"	9'49"	15
5	Modo "Madeira"	8'23"	15

A maior dificuldade de trituração deste tipo de material com este modo de operação está nas reversões, onde os rotores o fazem em conjunto e com isso deixam de realizar um passo importante na trituração deste tipo de material. A alternância de sentido dos rotores é uma observação que já foi comentada, onde percebe-se facilmente que, na medida certa, ajuda a fluência de trituração do lixo em geral.

5.2. Medição de produção com lixo industrial em “Modo Lixo”

Uma nova bateria de testes foi realizada utilizando o modo de operação lixo, que consiste no avanço contínuo dos rotores, porém a reversão por pressão é individual e a cada cinco minutos faz um ciclo de reversão. Observa-se que para melhor validar as amostras, a cada início de uma bateria, foi deixado o equipamento sem resíduo do teste anterior.

Tabela 2. Registro de amostras colhidas em teste triturando lixo industrial no “modo lixo”.

Amostra	Modo de operação sendo executado no equipamento	Tempo de produção em minutos	Quantidade produzida aproximada em m ³
6	Modo "Lixo"	7'31"	15
7	Modo "Lixo"	8'40"	15
8	Modo "Lixo"	7'58"	15
9	Modo "Lixo"	7'14"	15
10	Modo "Lixo"	8'01"	15

Devido ao material passar por processos de reversão dos rotores individualmente, a vazão de material triturado se tornou mais fácil nestes momentos. Houve muitos casos onde um rotor estava avançando enquanto o outro revertia, uma ferramenta vem de cima e a outra vem de baixo, nestes casos, materiais maleáveis enroscam-se nas ferramentas e são esticados se rompendo. O material depositado em alguns locais do pente forma um ângulo de depósito, onde sentidos contrários de operação tem mais facilidade de trituração. Em sentido de avanço também ocorre o mesmo, se os rotores ficarem somente em sentido contrário, alguns materiais vão se depositar em locais que talvez assim não sejam acessados pelas ferramentas. O ponto fraco deste modelo está na não leitura da pressão no sentido da reversão,

ocorrendo algumas vezes de travar o rotor em sentido de reversão. Conforme dados da tab.2, o resultado médio de tempo de produção no “modo lixo” foi de 7 minutos e 53 segundos.

5.3. Medição de produção com lixo industrial em “Modo Especial”

Neste modo de operação, o equipamento se comporta de acordo com um algoritmo previamente definido. Este algoritmo consiste em declarar os valores de tempo em que cada rotor trabalha em cada sentido. Devido ao conhecimento de causa e também baseado nos testes com o “modo lixo”, observa-se que encontrar um tempo adequado e perfeito é uma tarefa impossível, mais seguindo a orientação do “modo lixo”, sabe-se que se houverem alguns momentos onde os rotores trabalhem em sentido contrário, eleva-se o volume de produção. Sendo assim optou-se por lançar os tempos na receita objetivando o melhor índice de produção possível. Esta receita permite lançar até oito linhas de sequência de passos, o equipamento segue cada passo e ao concluir inicia um novo ciclo. A pressão máxima é monitorada apenas no sentido de avanço, ao ser detectado pelo sistema, comanda a reversão dos rotores individualmente por cerca de cinco segundos. O resultado médio de tempo de produção no modo especial foi de 7 minutos e 16 segundos, conforme mostra a tab.3.

Tabela 3. Registro de amostras colhidas em teste triturando lixo industrial no “modo especial”.

Amostra	Modo de operação sendo executado no equipamento	Tempo de produção em minutos	Quantidade produzida aproximada em m ³
11	Modo "Especial"	7'12"	15
12	Modo "Especial"	6'53"	15
13	Modo "Especial"	7'41"	15
14	Modo "Especial"	8'05"	15
15	Modo "Especial"	6'29"	15

5.4. Medição de produção com lixo industrial em “Modo Sentido Variável”

Segundo as regras lógicas pré-determinadas, fez-se os testes no modo sentido variável, baseado na leitura de pressão dos rotores, pela definição de classes de pressão. Valores de pressão abaixo dos 260 Bar são pressões que indicam continuidade de boa produção e principalmente com o avanço dos rotores. Valores baixos de pressão, pouco acima dos 50 Bar, significam que não há material para triturar, esta pressão indo até a casa dos 160 Bar, pode considerar baixa produção, o que deve fazer o sistema procurar material para triturar, caracterizando a primeira classe de pressão. O range de 160 a 260 Bar, marca um ótimo rendimento da força dos rotores. A tab.4 registra as amostras neste modo, com resultado médio de 7 minutos e 7 segundos.

Tabela 4. Registro de amostras colhidas em teste triturando lixo industrial no “modo sentido variável”.

Amostra	Modo de operação sendo executado no equipamento	Tempo de produção em minutos	Quantidade produzida aproximada em m ³
16	Modo “Sentido Variável”	7'51"	15
17	Modo “Sentido Variável”	7'15"	15
18	Modo “Sentido Variável”	6'10"	15
19	Modo “Sentido Variável”	6'47"	15
20	Modo “Sentido Variável”	7'34"	15

A busca por um modelo para atender a necessidade de alta produção em todos os tipos de material passível de trituração, observando os testes apresentados, resulta na definição de um modo de operação chamado de modo sentido variável. Após exaustivos testes utilizando toneladas de lixo de uma mesma procedência, comparou-se a produção do equipamento PTBH executando a trituração em diferentes modos. Para cada modelo triturando lixo, observa-se que a produção média no modo madeira durou cerca de 525 segundos enquanto no modo sentido variável durou 427 segundos. Isto representa uma diferença superior a 1 minuto e meio em uma carga de 15m³. Na prática, isto é uma diferença esperada pois o modo madeira testado não foi desenvolvido para trituração de lixo. Em uma nova comparação, levando em consideração o modo especial, que dentre todos os modos já aplicados era o que dava mais resultados de produção, a diferença nos testes comprova que o modo sentido variável é superior em velocidade de trituração de nove segundos. Apesar de parecer pouca diferença, levando em consideração o resultado médio das amostras em uma análise de suposição, imagina-se que 1m³ de lixo triturado pese 200 kg, o modo sentido variável trituraria uma média de 25,3 toneladas/hora, enquanto o modo especial tritura 24,8 toneladas/hora. Esta diferença seria de meia tonelada a mais por hora trabalhada. Nesta proporção, o novo modo de operação representa seria atingido um incremento de 2% a mais de produção por hora de trituração.

O reconhecimento no acréscimo de produção foi o ponto mais relevante nesta pesquisa, o benefício direto é expressivo, pois são produzidas toneladas por hora destes resíduos nestes equipamentos.

6. CONCLUSÕES

Para o completo entendimento do tema, foi necessário aprofundar o conhecimento no atual processo de cogeração e compreender o modelo real de trituração. A busca pelo conhecimento, com pesquisa desenvolvida em loco e entrevistas informais com clientes e colaboradores como engenheiros, montadores e técnicos de campo, fez possível a geração dos modelos de controle experimentais que foram testados ao longo da pesquisa. A experiência com todos os testes, somada ao conhecimento adquirido pelo pesquisador, sem dúvida oportunizaram os resultados positivos na compreensão do produto fabricado. A substituição dos atuais três modos de controle por métodos mais eficazes, atingiu o objetivo da pesquisa, pois foi possível obter um controle flexível para a trituração. Para o resíduo homogêneo de madeira, o método já aplicado se mostrou melhor, sendo assim foi apenas corrigida uma questão levantada e batizado de modo avanço contínuo. Para os resíduos industriais heterogêneos, o modo proposto, denominado modo sentido variável, foi baseado no modelo de pressão sobre os rotores desenvolvido pela pesquisa e apresentou resultados positivos em comparação aos métodos já praticados. Com esforço maior na programação do CLP para ajuste de regras, testes de produção e trabalho intelectual, o custo médio de R\$1.200,00 na adequação da fabricação do projeto, torna-se insignificante diante do valor na ordem dos milhões em que é vendido o equipamento. O raciocínio baseado em regras com aprendizado em tempo de produção resultou em um sistema mais eficiente do ponto de vista do tempo, permitindo tornar esta pesquisa referência na trituração de resíduos, uma vez que métodos similares poderão ser aplicados em outros equipamentos deste seguimento em uma linha de produção de planta de co-processamento de resíduos.

7. REFERÊNCIAS

- Beckhoff Automation. **PC Industrial CP6200**. Disponível em: http://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog. Acesso em 06/01/2015.
- Bolton, William. **Mecatrônica uma abordagem multidisciplinar**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- Georgini, Marcelo. **Automação Aplicada**. 5 ed. São Paulo: Érica, 2009.
- InduSoft. **InduSoft Web Studio 8.0**. Disponível em: <http://www.indusoft.com/Products-Downloads>. Acesso em 07/01/2015.
- Pazos, Fernando. **Automação de Sistemas & Robótica**. 1. ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2002.
- Portal Action. **Incerteza de medição**. Disponível em: <http://www.portaction.com.br/incerteza-de-medicao/12-incerteza-de-medicao>. Acesso em 14/10/2014.
- Rede BBC de jornalismo. **Lixo em energia**. Disponível em: http://www.bbc.co.uk/portuguese/videos_e_fotos/noruega_lixo_energia_lgb.shtml. Acesso em 09/02/2014.
- Silva, Leandro. Incineração de resíduos intensifica debate sobre a PNRS. **Reciclagem Moderna**, SP, ed. 37, 2013.
- Tocci, Ronald J. e Widmer, Neal. **Sistemas Digitais**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2003.

8. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

IMPROVEMENT OF A PROCESS OF MILLING FOR RECYCLING TRASH

Cynthia B. Scheffer-Dutra, cynthia@ifsc.edu.br
Anderson F. Burigo, afburigo@gmail.com

Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis, Rua Mauro Ramos, 950 - Florianópolis/SC

Abstract. Observing an process of garbage trituration, used especially in the early stages of a transformation process from industrial waste to fuel, perceives the necessity of control improvement, using as a base, mathematical models with the power to interpret physical situations through dynamic readings. The equipment used in this research is already an designed and functional machine, Active in the process with simple logic control ignoring the variable process. To be distributed the residue over the cutting tools of the rotors, this is pulled to the side that is turning the rotors or tool axes and thus distributing them disproportionately or mismatch with developments in production. The key point to be addressed is the speed and direction of rotation of two axes tool, used in the core of the trituration process. As a reference, the pressure in the hydraulic system, serves as a learning process that uses rule-based reasoning. Changes the momentary way that works the axes, thereby achieving, predict where has good material quantity and deciding how to cut it. The idea came out from the observation of various types of materials being triturated, Some methods which apply sequence control and implies each material requires a trituration template, when it is possible to make an analogy between the model and the pressure reading, it is possible to convert the way the equipment operates on it.

Keywords: Milling, control, residue, automation.