

A UTILIZAÇÃO DE SENSORES DE TRIANGULAÇÃO A LASER COMO FERRAMENTA DE INSPEÇÃO PREDITIVA E CONFIABILIDADE NA MANUTENÇÃO

Thiago Vago de Brito¹, Douglas Oliveira Lopes²

RESUMO

Ao longo do tempo, o processo de produção de coque em uma bateria de fornos traz interferências aos equipamentos ligados a produção, devido a dilatação da parede dos fornos, fazendo com que o *bracing* perca a sua eficiência, causando deslocamento radial de metálicos como o *buckstay* que, por consequência, pode gerar falha no automatismo das extratoras, limpadores de *door-frame* e nivelamento das máquinas dependendo da distância que esse deslocamento percorre. Visando manter os equipamentos operando em automático e os *buckstays* alinhados, a manutenção centrada em confiabilidade será utilizada para solucionar esses desvios antecipando as ocorrências através dos *kpis* e ferramentas como a manutenção preditiva, que será alimentada com dados obtidos de sensores, gerando um perfil longitudinal dos *buckstays* ao longo das baterias de fornos. Sensores com tecnologia de triangulação a laser serão utilizados para fazer as medições *online* e gerar histórico com tendências, que posteriormente irá suprir com dados armazenados e instantâneos a base de parâmetros da manutenção preditiva para implementar ações antecipadas com o objetivo de tornar sistema de *bracing* mais eficiente e manter os equipamentos em automático. Um ganho financeiro é esperado através dessa ferramenta de medição, que busca evitar paradas não planejadas de um equipamento, chamadas de paradas emergenciais e de alto valor econômico, além de trazer mais estabilidade ao processo e menos interferências de manutenção.

ABSTRACT

Over time, coke batteries production process brings interference to the production equipment due to the dilation of the furnace wall, causing bracing to lose its efficiency, causing radial displacement of metals such as the buckstay, which, as a consequence, can lead to the automation failure of the pullers, door-frame wipers and leveling of the machines depending on the distance that this displacement travels. In order to keep the equipment operating in automatic and the buckstays aligned, the reliability centered maintenance will be used to solve these deviations anticipating the occurrences through the *kpis* and tools as the predictive maintenance, which will

be fed with data obtained from sensors, generating a longitudinal profile of the devices over the Coke batteries. Laser triangulation technology sensors will be used to make measurements online and generate trend history, which will later supply stored data and snapshots with the predictive maintenance parameter base to implement early actions to make bracing more efficient. and keep the equipment in automatic. Financial gain is expected through this measurement tool, which seeks to prevent unplanned equipment downtime, emergency stop calls and high economic value, as well as providing more process stability and less maintenance interference.

Key words: Buckstay; Predictive maintenance; Triangulation laser measuring sensor.

1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, é bem provável não sobreviver indústrias de grande porte sem a utilização da automação industrial (SILVEIRA, 2003). Isso porque a produtividade aliada à redução de custos além de ser muito importante, é essencial para as empresas se manterem no mercado, a chave para se manter competitivo, é investir na tecnologia de automatizar um processo, gerando o aumento da produtividade e a redução dos custos operacionais. Padronizar os processos de uma indústria, reduzir os erros e retrabalhos causados por falhas humanas e diminuir os gargalos internos da produção são algumas vantagens de investir na tecnologia em usar soluções automatizadas a favor de uma empresa.³

No processo de produção de Coque, máquinas que se movem sobre trilhos são utilizadas no processo produtivo, tendo um papel primordial que ditam o ritmo da produção, funções de extrema importância como a de extração de portas e nivelamento de carvão são essenciais para que a produção se mantenha no ritmo programado. No passar dos anos, as paredes dos fornos dilatam, ocasionando a deformação dos *buckstays*, que por consequência geram falhas no sistema automatizado da extratora de portas e nivelamento do carvão. Alguns problemas gerados por esse fenômeno são, colisão da porta com o *buckstay*, gerando excesso de posicionamento para extrair e limpar o *door-frame*, tanto como colisão do gancho abridor de portinhola com o *buckstay* empenado, além de causar problemas mais abrangentes no sistema de *bracing* dos fornos de coque, que tem como principal função manter o tensionamento ideal dos refratários.

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de implementar um sistema automatizado integrado, que irá disponibilizar dados confiáveis para auxiliar a manutenção na

³ Disponível em: <<https://blog.leucotron.com.br/por-que-a-automacao-no-mercado-financeiro-e-tao-importante/>>. Acesso em: 03 mai. 2019.

tomada de decisões assertivas, que tem como objetivo reverter o número de atuações corretivas não programadas em corretivas programadas e preventivas, uma vez que as manutenções corretivas não programadas tem um custo elevado para a empresa. De posse das informações levantadas pelos sensores de medição, será feito um tratamento dos dados para desenvolver um método objetivo para formular estratégias para a manutenção antecipar falhas precoces nas funções de extração de portas pelas guias de coque, nivelamento pelas desenformadoras e ajuste de tensionamento das molas que fazem a compressão dos refratários que compõe o sistema de *bracing*.

É extremamente importante reduzir o número de falhas em equipamentos que contribuem para o atraso operacional, isso porque a produção diária é retirada conforme a programação, portanto uma quebra quando associada a algumas combinações operacionais podem causar uma grande perda de produção, que tem efeitos financeiros, além de desestabilizar o processo e sua capacidade de produzir, tendo que reprogramar os horários de produção e adequar o controle de temperatura dos fornos.

Com o auxílio de sensores de medição, técnica de tratamento do sinal, integração desse sinal de forma instantânea e histórica, utilizando como base de atuação a manutenção centrada em confiabilidade, espera-se reduzir significativamente a quantidade de falhas geradas nas máquinas móveis através de empeno dos *buckstays*, e por fim tornar mais eficiente o sistema de *bracing* das baterias de fornos, especificamente alcançando os objetivos abaixo:

- Mapear os *buckstays* ao longo das baterias de fornos quanto ao seu deslocamento impossibilitando o automatismo das máquinas;
- Antecipar as quebras dos ganchos abridores de portinhola das desenformadoras, extratora de portas e limpador de *door-frame*;
- Disponibilizar *online* um histórico de tendência do deslocamento dos *buckstays*;
- Desenvolver ferramentas de manutenção com intuito de antecipar falhas proveniente de *buckstays*.

Iniciou-se a ideia desse trabalho devido a quantidade de falhas e tempo de parada não programada oriundo de falhas de manutenção. A baixa confiabilidade das funções das máquinas móveis de pavimento médio mais os metálicos ao longo da bateria tem sido um gargalo operacional, gerando prejuízos a empresa entre outros problemas, podemos citar o excesso de posicionamentos feitos pelas desenformadoras e guias de coque que acarretam danos as extratoras de portas ao passar do tempo, quebras do gancho abridor de portinhola, sistema de *bracing* ineficiente, além de ter mais de 4000 molas a ser inspecionada uma vez por ano. Isso torna ritmo operacional frágil sujeito a perda de produção causado por atrasos.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PROCESSO DE PRODUÇÃO DO COQUE

Em usinas siderúrgicas em geral, a produção do coque é dividida em etapas distintas, uma delas é a importância de se adquirir um carvão de boa qualidade, visto que a qualidade desse produto afeta diretamente na qualidade do coque que é produzido. Caso a manutenção do carvão não seja feita de maneira apropriada, o coque no final pode ficar comprometido. O processo da produção do coque pode ser resumido por quatro etapas distintas (FILHO, 2007. apud YAZAKI, 1991).

- A estocagem e o recebimento dos carvões;
- Mistura e a recuperação dos carvões;
- Coqueificação;
- Estocagem e utilização do coque nos altos-fornos.

Devido à grande demanda das usinas siderúrgicas, o suprimento é feito por meios que disponibilizam uma maior quantidade e capacidade de carga, portanto, utiliza-se os meios ferroviário e marítimo, principalmente por conta da distância entre o fornecedor e o usuário final (FILHO, 2007. apud Ulhôa, 2003).

Para Yazaki, citado por Filho (2007), após o recebimento e descarga, o carvão é conduzido através de correias transportadoras e seguem em direção aos pátios de estocagem do material. Com a ajuda de equipamentos chamados de empilhadoras ou recuperadoras, o carvão é recebido e empilhado separadamente no pátio. Após esse processo, o carvão se torna disponível para a recuperação, onde é preparado e beneficiado para a mistura. Ainda conforme Yazaki, citado por Filho (2007), os carvões são recuperados das pilhas pelos mesmos equipamentos fizeram o empilhamento anteriormente. Durante todo o processo de recuperação, o carvão passa por peneiradores, britadores para então serem armazenados e silos de dosagem. A partir desse momento, o carvão está pronto formar misturas que estarão em processo de coqueificação.

De forma bem resumida, a coqueificação:

“[...] é a “destilação” porpirólise ou decomposição térmica do carvão mineral ao abrigo do ar, que após o desprendimento da matéria volátil obtêm-se um resíduo sólido, poroso e carbonoso denominado coque. Durante o processo de transformação do carvão mineral em coque, a temperatura da mistura enforada varia, no centro da carga, de 200 a 800°C. À medida que é aquecida, a carga sólida passa por duas fases distintas, uma plástica (até 450°C) e uma de resolidificação (de 450 a 800°C), quando se finda a transformação. O comportamento do carvão na fase plástica é determinante para a qualidade do coque, devido à ascensão dos gases incorporados à mistura de carvões.” (FILHO, 2007. apud Araújo, 1967).

Após a coqueificação:

“[...] o coque bruto é desenformado e sua combustão é extinta a úmido ou a seco, dependendo do processo siderúrgico, seguindo então para o beneficiamento, onde é peneirado e britado, atingindo assim a granulometria adequada para a sua utilização no processo siderúrgico, mais especificamente, no alto-forno, onde exerce um papel térmico, suprimindo a maior parte da energia térmica requerido pelo processo (cerca de 20% do calor são introduzidos pelo sopro quente); um papel químico, fornecendo o carbono necessário à produção do gás redutor (monóxido de carbono) do minério de ferro, à regeneração parcial do dióxido de carbono, à redução direta do óxido de ferro presente na escória líquida e dos elementos de liga como silício e manganês, e à carburização do gusa como elemento de liga; e um papel físico, fornecendo um meio permeável para a ascensão dos gases e descida do metal e escória para o cadinho do forno.” (FILHO, 2007. apud Carneiro, 2003).

Para entendermos melhor o local de instalação dos sensores que serão implementados através desse trabalho, mostraremos através da Figura 1 um corte da bateria de fornos e os respectivos equipamentos que receberão a instalação dos sensores de medição de distância por triangulação a laser.

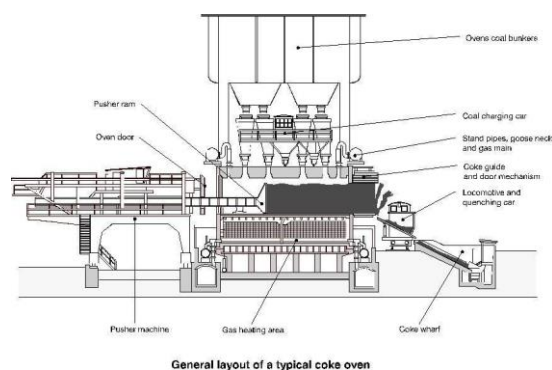


Figura 1: Design típico de um forno de coque

Fonte: <http://www.patrimonioindustrialvasco.com/atividades/a-typical-coke-oven-battery-brief-process-description-esquema-de-una-bateria-de-coque-o-cok/>. Acesso em: jun. 2019.

Nesse caso, os equipamentos que receberão os sensores na prática serão os da Figura 4, a máquina chamada de *Pusher machine* (Máquina Desenformadora) e a máquina chamada de *Coke guide and door mechanism* (Guia de Coque).

3.1.1 Máquinas em uma bateria de fornos de coque

A configuração do conjunto de máquinas em uma bateria de fornos pode ser dividida em quatro⁴:

- Carro de carregamento;
- Máquina desenformadora;
- Carro guia de coque;
- Locomotiva transportadora.

⁴ Disponível em: <<http://www.kbkxm-kbk.com/ENG/KM.html#PU>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

Nesse trabalho, a implementação do projeto será feita na máquina desenformadora e no carro guia de coque.

- Carro guia de coque: O "guia de coque", como geralmente é chamada essa máquina, tem como principal função remover a porta do forno do lado do coque, receber e canalizar o coque para uma locomotiva montada eletricamente operado por trilho ao nível do solo⁵.
- Máquina Desenformadora: Essa máquina tem um êmbolo acionado eletricamente para empurrar o coque para fora do forno, empurrando de um lado para o outro, fazendo o coque passar pela grade da guia de coque para então depois cair na locomotiva⁶.

Em resumo, as duas máquinas de coqueria citadas acima que receberão a implementação dos sensores, trabalham bem próximas aos metálicos que compõe a parte estrutural dos fornos de coque, chamados de *bracing* (amarração). A distância entre os metálicos e as máquinas é milimétrica, ou seja, qualquer dilatação além do previsto em projeto, ou empeno mais algum defeito nas máquinas pode gerar transtornos operacionais e por consequência parada operacional e perda de produção. Devido essas entre outras interferências a ideia de medir esse deslocamento surgiu para preservar as funções em automático das máquinas desenformadora e guias de coque.

3.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A MCC pode ser definida como:

“[...] uma metodologia de manutenção cujo objetivo principal é a preservação das funções desempenhadas pelos sistemas e processos industriais de modo a garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e da instalação ao menor custo.” (SOUZA, 2008a).

Dessa forma, objetivando estabelecer métodos adequados de manutenção, a MCC procura obter respostas corretas e precisas a um conjunto de questões, nesse caso as mais importantes para esse trabalho serão: (SOUZA, 2008a).

- Quais as funções preservar?
- Quais as consequências das falhas?

Tendo em vista que o objetivo desse trabalho é manter o automatismo das Máquinas Móveis e a eficiência do *bracing*, a função de extrair as portas, transladar com a máquina com o gancho em repouso e melhorar o monitoramento da expansão das molas do *buckstay*, são funções que precisam ser preservadas. Suas consequências trazem prejuízo financeiro, e deterioração

⁵ Disponível em: < <http://www.steel-photo.org/tag/zdzieszowice/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

⁶ Disponível em: < <http://www.steel-photo.org/tag/zdzieszowice/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.

precoce dos ativos da empresa. Devido uma grande complexidade de alguns processos de produção e para se ter o maior proveito dos investimentos que são aplicados, alguns cuidados são importantes para que a maioria dos objetivos sejam alcançados. Entre eles se destacam os seguintes: (NETO, 2002).

- Poder contar com pessoas bem selecionadas, bem como de supervisores qualificados;
- Programas de manutenção preditiva assertiva;
- Revisão peças específicas que requerem reparos frequentes;
- Investigação contínua das causas dos defeitos e falhas;
- Atualização contínua dos processos em virtude dos avanços tecnológicos;
- Colaboração integrada entre todos os setores da empresa.

3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva pode também ser chamada de manutenção a partir de uma condição ou a partir de um estado específico de uma máquina ou equipamento. Ao longo do tempo, informações podem ser obtidas de um equipamento através de instrumentos de medição que visam armazenar históricos e tendências para que se possa definir um estado futuro de uma máquina ou equipamento, podendo assim, agir de forma a prevenir uma falha.

Esses dados coletados, por meio de medições em campo, que no nosso caso serão obtidos em milímetros através de sensores de triangulação a laser, permitem um diagnóstico preciso. Essa forma de manutenção, se concentra em observar o desgaste ou processo de degradação de um certo equipamento ao longo do tempo, seu intuito é indicar também as condições reais de funcionamento. Nesse trabalho, os dados analisados serão os deslocamentos sofridos pelos *buckstays* ao longo das Baterias, o desafio será a criação de *kpis* e parâmetros de controle que servirão de base para atuações antecipativas (TELES, 2003).

Quando é escolhido executar a manutenção preditiva, significa que se intervirá sobre um equipamento de forma condicional, isto, unicamente os parâmetros analisados evoluírem de forma significativa, possuindo três fases importantes para análise (NETO, 2002).

- A detecção do efeito que se desenvolve: A evolução de uma anomalia precisa ser monitorada, isto se dá através das medições que servirão de referências para se acompanhar e se comparar a evolução dos defeitos posteriores caso venham acontecer.
- O estabelecimento de um diagnóstico: Desde o momento que uma anomalia é detectada, o responsável terá o encargo estabelecer, com base nos dados coletados, um diagnóstico preciso à origem e a gravidade do defeito constatado.

- A análise da tendência histórica: Quando o diagnóstico é estabelecido, o engenheiro consegue prejulgar um tempo de vida estimado, antes da falha, para poder deixar o equipamento operando sob medidas de vigilância forçada e prever o reparo.

3.4 INDICADORES CHAVES DE DESEMPENHO – *KPI*

Esses indicadores têm como objetivo refletir o progresso de um processo ou aplicação em direção às metas desejadas. Existe meios de calcular alguns *KPIs* para processos que envolvem equipamentos, que são selecionados durante um intervalo de tempo. Podemos classificar alguns indicadores de um equipamento qualquer como:

- Ocorrências de ALERTA;
- Ocorrências de ALARME;
- Ocorrências de TRIP.

Nesse contexto, existe uma frequência de defeitos que um equipamento sofre ao longo de sua vida útil. Esses indicadores podem auxiliar na estratégia de uma manutenção preventiva, ou seja, após estabelecer os valores de ALERTA, ALARME e TRIP, podemos monitorar o desempenho de uma máquina ou equipamento, relacionando a frequência dos alarmes citados e tomando ações de bloqueio pré-determinadas para evitar uma falha inesperada (SOUZA, 2008a).

A gestão dos equipamentos pode ser feita através de indicadores bem determinados, avaliando a sua performance ao longo do tempo. Os indicadores proporcionam também a utilização de relatórios gerenciais de manutenção visando facilitar a avaliação das atividades de manutenção, permitindo assim tomar decisões assertivas e estabelecer metas (PERES, 2007a).

3.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL - CLP

Os CLPs vêm aumentando cada vez mais a sua participação no mercado industrial e alcançando setores como o da automação predial, transportes, telecomunicações e estações de distribuição de energia elétrica (ANDRADE, 2013). Não diferente na Coqueria da ArcelorMittal Tubarão, os CLPs estão presentes em diversas aplicações, entre elas, a implementação desse trabalho será feita numa aplicação controlada por um CLP, onde na máquina proposta utiliza-se o controlador da fabricante GE-FANUC, especialmente a família PACSystems RXi3.

3.6 PROFIBUS DP

A tecnologia PROFIBUS DP é uma rede industrial, que por meio de elemento físico interliga componentes de um sistema de controle ou processo. Devido a grande vantagem na

utilização de redes em ambientes industriais, podemos destacar alguma delas, sendo: Redução de grande quantidade de cabos entre controladores e dispositivos de campo, redução dos módulos de saídas e entradas dos CLPs, padronização eletromecânica, tornando independente a instalação do fabricante, tempo rápido de resposta, instalação simples e rápida, possibilidade de ampliação caso necessário, grau de proteção elevado (IP67) e por fim a transmissão segura de dados. A rede PROFIBUS DP é o protocolo de aplicação mais utilizado, tendo a função de integrar o processo ou nível de campo pelo qual é formado de sensores ou atuadores. Sua popularidade se dá pelo baixo custo e alta velocidade de transmissão (PERES, 2012b). Nesse trabalho será utilizado a rede existente em uma das máquinas para receber os sensores de medição a laser, nesse caso, já temos um módulo de comunicação *PROFIBUS DP*, que será utilizado para comunicar com um *rack* de expansão da GE-FANUC que receberá os módulos de entradas analógicas para transmissão do sinal de distância que será medido.

3.7 SENSORES DE MEDIÇÃO POR TRIANGULAÇÃO A LASER

Os sistemas ópticos de medições são utilizados em várias situações, tais como medição de deformação de objetos, medição de vibração ou medição de distância, sendo esse último o aspecto mais focado nesse trabalho. Métodos ópticos de medição podem ser agrupados em três categorias: triangulação, telemetria, que é baseado no tempo de voo e interferometria. O desenvolvimento em criação de lasers, dispositivos ópticos integrados, receptores e transmissores eletrônicos concedeu novos desenvolvimentos e métodos de fazer medições por tais dispositivos. O princípio da medição por triangulação baseia-se em um processo que permite determinar distâncias ou posições de objetos a partir de princípios e considerações baseadas na geometria de triângulos semelhantes. O método de medição baseado em geometria foi utilizado por volta do ano 600 AC pelo matemático grego Thales de Mileto na medição da altura das pirâmides de Gizé e na determinação da distância que um navio estava no mar. Esse método é frequentemente utilizado, um sensor óptico baseado em triangulação é um exemplo simples da aplicação desse método. Uma fonte laser colimada (CLS) é utilizada para iluminar o alvo (pode ser um objeto ou uma pessoa) para ser medido. A luz refletida pelo alvo é detectada por um sensor receptor colocado lateralmente em relação à fonte do laser, constituído por exemplo, por uma lente e pelo detector sensível à posição (PSD). Como pode ser visto na Figura 3 (FONSECA, 2017).

3.8 SISTEMA SUPERVISÓRIO

Coletando os dados do processo, os sistemas supervisórios podem executar essa tarefa, pois permite coletar e monitorar esses dados em tempo real. Para executar essas tarefas, os

sistemas supervisórios utilizam algum sistema computacional, ou seja, um *software* de monitoramento geralmente instalado em algum computador, que seja capaz de comunicar com o chão de fábrica através de *hardwares* de controle (SOUZA, 2005b). Nesse trabalho trabalharemos com o sistema supervisório da Wonderware/Schneider Electric chamado de Intouch, que é destinado a criação de telas gráficas de interação e comunicação com CLPs, é a interface homem-máquina muito simples de ser configurada quando comparado aos outros softwares disponíveis no mercado. Esse *software* de monitoramento é um dos mais utilizados no mundo, possui uma documentação bastante ampla, que é um ponto importante quando somada com a facilidade e simplicidade no procedimento de criação de telas gráficas (CAVALCANTI, 2008).

2. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será detalhado um caso de uma aplicação prática envolvendo a implementação de tecnologia de automação para aumentar a confiabilidade em equipamentos ligado a produção de coque em uma bateria de fornos da coqueria da ArcelorMittal Tubarão localizada na Serra no Espírito Santo.

2.1 DETALHAMENTO DO PROBLEMA

No processo de produção de coque, máquinas automatizadas são utilizadas para tirar a produção de forma sincronizada, tornando o processo dependente de uma alta confiabilidade, em outras palavras, falhas eletromecânicas podem comprometer o ritmo operacional, causando paradas por longo período dependendo da gravidade do problema. As máquinas desenformadoras e as máquinas guias de coque operam muito próximas aos metálicos da bateria, devido essa premissa de projeto, os ajustes mecânicos precisam estar o mais próximo possível dos parâmetros de projeto que mantem as funções operando sem ocasionar colisão com os chamados *buckstay*, que são metálicos que fazem parte do sistema de amarração dos refratários ao longo das baterias de fornos. As desenformadoras e as guias de coque tem duas funções fundamentais que estão em constante funcionamento ao longo da produção diária de uma bateria, que é extrair as portas dos fornos, e fazer a limpeza do metálico chamado de *door-frame*. Durante esse processo, devido o empeno de alguns *buckstays*, quando a máquina está em fase de extração, colocação ou limpeza de portas, ocorre a colisão da porta com o *buckstay*, isso causa fadiga no sistema mecânico, que futuramente pode virar uma falha ocasionando uma parada não programada, que por sequência, acaba gerando atraso operacional e podendo ocasionar perda de produção. Devido essa proximidade da máquina com os metálicos da bateria, surgiu a necessidade de monitorar o

deslocamento desse *buckstay*, para se ter uma ideia de quantos estão em condições que possa interromper o automatismo da máquina. Esse monitoramento também pode favorecer mais uma função da máquina desenformadora que é a abertura de portinhola, através de um gancho, que também passa bem próximo ao metálico quando a máquina está transladando ao longo da bateria.

Na Figura 2, podemos observar a colisão de uma das funções que é a limpeza dos *door-frame* que é feita quando a porta é extraída. Essa função exerce um giro no sentido do metálico, que é quando acontece a colisão quando a máquina ou os *buckstays* estão desalinhados, desajustados ou danificados.



Figura 2: Colisão entre limpador de *door-frame* e *buckstay* com a guia de coque
Fonte: ArcelorMittal Tubarão – Serra ES, 2019

No total, ao longo das baterias, tem-se instalado 300 *buckstays* e 4200 molas que fazem o ajuste para manter a compressão do refratário das baterias. Os sensores de medição a laser farão a varredura para mapear a condição atual com intuito de antecipar ações corretivas e trabalhar de forma planejada e programada.

2.2 HARDWARE UTILIZADO

Diversos fatores podem influenciar na escolha do *hardware* mais indicado, podendo ser as condições ambientais (temperatura, vibrações etc.), quantos dispositivos discretos e analógicos serão utilizados etc. (SILVEIRA; LIMA, 2003). No estudo de caso, temos que levar em consideração o *hardware* já embarcado, e os custos que serão necessários para a implementação da melhoria, a seguir, veremos a princípio o levantamento do *hardware* que será utilizado.

2.2.1 CLP

As duas máquinas que receberão a implementação dos sensores de medição já possuem CLPs instalados, sendo da marca GE-FANUC e modelo PACSystems RXi3, utilizando um

processador do modelo IC695CPE305. Na configuração atual, não tem mais espaço de entradas analógicas no CLP da máquina desenformadora, que são entradas necessárias para receber o sinal de 4 à 20mA emitido pelos sensores de medição por triangulação a laser. Nesse caso, aproveitaremos a rede *profibus dp* existente para adicionar um *rack* de expansão de I/O, para poder ligar os sensores analógicos. Já na guia de coque, o cartão de entradas analógicas já instalado, tem entradas reservas que podem acomodar os sinais analógicos dos sensores de medição. O projeto inicial requer sete entradas analógicas para cada equipamento. A CPU em utilização comporta tranquilamente a inclusão desses sinais, sendo capaz de processar 32Kwords para entradas e saídas analógicas.⁷ Na máquina desenformadora será implementado um *rack* de expansão de I/O via rede *profibus DP* existente na máquina.

Na máquina guia de coque, a implementação e ligação dos sensores será mais fácil de fazer pelo fato do CLP já possuir entradas analógicas existentes, nesse caso, o cartão existente é do modelo IC694ALG223, que contém 16 entradas analógicas de 16 bits de resolução para o processamento de dados, tratando de forma digital entre um range de 0 a 32000 para corrente em 4 à 20mA.⁸ Esse cartão trabalha com uma resolução de 16 bits conforme já foi citado anteriormente, o sinal analógico quando configurado em 4 à 20mA o *range* dentro do CLP obedecerá a uma escala de 0 a 32000, sendo 4 mA equivalente a 0 e os 20 mA equivalente a 32000.⁹ Os sensores de medição irão trabalhar a uma distância de aproximadamente 400mm do alvo final que será o *buckstay*, de posse dessa informação precisamos ajustar o *range* final do sensor, que será configurado em 600mm, portanto quando a corrente de saída tiver em 4 mA, o CLP irá receber um valor de zero que em distância representará 0 mm, mas quando a corrente de saída estiver em 20 mA, o CLP irá processar 32000 que corresponderá a 20 mA.

2.2.2 Expansão de I/O

A implementação na máquina desenformadora será um pouco mais trabalhoso devido à falta de espaço de entradas reservas, por isso iremos utilizar uma expansão via rede *profibus DP*, pois é uma rede já existente no equipamento, o que torna mais prático e óbvio a escolha da rede. Vale dizer que a escolha por uma marca do mesmo fabricante torna a instalação ainda mais fácil e prático, dito isto, após uma pesquisa de mercado e consultas técnicas, a expansão de I/O

⁷ Disponível em: <<https://www.instrumart.com/assets/CPE305-quick-start.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

⁸ Disponível em:

<http://medik.apps.output.sk/pacsystems_rx3i_profibus_modules_users_manual_gfk_2301b.pdf> Acesso em: 06 jun. 2019.

⁹ Disponível em:

<http://medik.apps.output.sk/pacsystems_rx3i_profibus_modules_users_manual_gfk_2301b.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2019.

escolhida foi da fabricante GE-FANUC RSTi. Deve-se considerar também a escolha do adaptador de rede que servirá de tradutor entre o CLP e a expansão de entradas e saídas, que nesse caso será o módulo *PROFIBUS DP* STXPBS001, finalmente, para fazer a ligação dos sensores de campo, o cartão utilizado será o modelo ST-3234 de quatro canais analógicos de corrente em 4 a 20 mA com resolução de 16 bits¹⁰, sendo necessário a aquisição de dois cartões devido a quantidade de sensores que serão utilizados.

2.2.2 Infraestrutura de rede *Profibus DP*

A infraestrutura instalada respeitando a atual instalação já existente no equipamento, nesse caso apenas a máquina desenformadora irá receber essa rede, pois como já foi mencionado, a máquina guia de coque tem entradas reservas para receber os novos sensores de medição. Atualmente existem dois inversores de frequência da WEG do modelo CFW11 de potências diferentes, que já estão ligados na rede, aproveitando essa infra existente, o *rack* de expansão de I/Os será ligado através do conector já existente no último inversor da rede. A solução proposta para aproveitar a rede é continuar a comunicação através do último inversor, ligando um cabo no terminal existente e levando o cabo até o módulo adaptador de rede que fará a comunicação direta com o CLP.



Figura 3: Infraestrutura de rede proposta para adaptação do módulo de expansão de I/O
Fonte: Autor

O cabeamento para fazer a interligação entre os dispositivos seguirá o padrão já existente, assim como os conectores para rede *PROFIBUS DP*.

2.3 SENSOR DE MEDIÇÃO

Os sensores de medição por triangulação a laser que farão a medição necessária para que a solução possa efetivamente cumprir a função de monitorar o deslocamento da estrutura metálica

¹⁰ Disponível em:

< <http://www.logic-control.com/datasheets/3/RSTi/PACSystems%20RSTi%20IO%20Manual%20GFK-2745B.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

das baterias de fornos precisam ter algumas características importantes devido a agressividade da área em que serão instalados. Fatores como temperatura, vibração, poeira e exposição a condições climáticas devem ser levados em consideração para a aquisição do sensor que atendam aos requisitos mínimos necessários para que possam ter vida útil preservada e confiabilidade elevada. Outro fator importante é a superfície escura, o sensor escolhido deverá medir o deslocamento de metálicos da cor preta. O sensor escolhido para esse projeto será da fabricante BANNER, da LE Series, especialmente o LE550, que possui um alcance de medição de 1 metro com resolução milimétrica, grau de proteção IP67 e temperatura de trabalho +55°C.¹¹ Visando acomodar o sensor de forma que a instalação fique padrão e segura, utilizaremos suportes de fixação que também são fornecidos pela BANNER de utilização própria para esses sensores. Deve-se considerar também o cabeamento necessário para fazer as ligações necessárias, que fará a ligação do sensor até a sala elétrica onde fica instalado o CLP que fará o tratamento e processamento desses dados, o cabo fornecido pela BANNER é um cabo específico, preparado com 5 pinos para ligação padrão do conector ao sensor, com rabicho de 15 metros de comprimento.

2.4 PROJETO ELETROMECAÂNICO

O projeto de instalação e escolha da posição exata da posição final dos sensores, dependem de fatores que precisam ser avaliados, como a rota do cabeamento, exposição ao processo, interferência com o equipamento e pessoas que trabalham próximo da região pretendida. Um ponto importante, é a determinação correta da distância em que o sensor ficará do item a ser medido, respeitando as limitações eletrônicas como resolução, precisão e repetibilidade, além de observar também a exposição ao calor, uma vez que a proximidade com o *buckstay* pode ser um dos fatores decisivos para essa escolha. Nessa etapa de projeto, vamos avaliar a melhor posição de instalação do sensor levando em consideração as limitações conforme descritas no manual. O primeiro ponto é a repetibilidade, por mais que o *range* do modelo LE-550 em questão possa medir até 1 metro, podemos observar que a partir de 600mm, independente do tempo de resposta, não temos mais uma precisão estável de $\pm 1\text{mm}$, que é uma precisão que tentaremos manter para tornar a nossa amostragem mais próxima do real possível.¹²

¹¹ Disponível em: < <https://www.bannerengineering.com/br/pt/products/sensors/laser-distance-measurement/laser-measurement-sensor-le-series.html?pageNum=1&sort=4#all> >. Acesso em: 06 jun. 2019.

¹² Disponível em <www.bannerengineering.com>. Acesso em: 06 jun. 2019.

Da mesma forma, a acurácia é também um fator que precisa ser observado, já que a distância com o objeto final medido faz diferença no resultado. Podemos concluir diante dos gráficos de desempenho mostrados anteriormente que a partir de 600 mm de distância, existe uma variabilidade maior, em outras palavras, quanto mais afastado o sensor ficar do objeto depois dos 600 mm, mais erro de medição será acrescentado ao resultado.

Cumprе destacar desde logo que, um outro ponto importante da implementação do projeto é a localização física da instalação dos sensores no campo. Levando em consideração as premissas citadas no início desse capítulo mais as particularidades de desempenho do sensor conforme as curvas já apresentadas, podemos sugerir locais de instalação que possam atender todos os requisitos para que as medições aconteçam de forma assertiva e tragam resultados confiáveis, para posteriormente virar dados históricos, que trabalhados analiticamente, podem contribuir para o aumento da confiabilidade do equipamento.

Na máquina desenformadora, uma viga será instalada na horizontal, do lado que aponta para o mar, igualmente ao outro equipamento que fica no lado oposto, cada uma das máquinas receberá ao todo 7 sensores de medição. Abaixo na Figura 4, podemos ter uma noção prática de como a instalação será incluída na estrutura existente, sem atrapalhar o fluxo de empregados, e claro, respeitando os limites físicos do sensor.



Figura 4: Local de instalação dos sensores de medição a laser na máquina desenformadora

Fonte: ArcelorMittal Tubarão – Serra ES, 2019

2.4.1 Vigas de sustentação

As vigas de sustentação para instalar os sensores serão adequadas na oficina mecânica interna da ArcelorMittal com os detalhes necessários, um projeto deverá ser desenvolvido para definição dos pontos exatos de fixação. A princípio uma viga com perfil C pode ser utilizada, devido a possibilidade de manter os sensores enclausurados, preservando dessa forma sua vida útil. As vigas de sustentação deverão ser projetadas para instalar os sensores exatamente na altura onde as molas exercem efeito sobre os *buckstays*. Deverá ser avaliado as dimensões verticais

para furação dos buracos por onde passarão os lasers, a fabricação de suportes deverá ser fabricada e adicionada a viga para que o suporte do sensor possa ser fixado sobre ela, além de possuir passagem para o cabeamento elétrico e para o sensor de monitoramento da temperatura. Esse projeto de desenvolvimento da viga deverá ser trabalhado em conjunto com a engenharia mecânica da ArcelorMittal.

2.4.2 Monitoramento da temperatura

Monitorar a temperatura no interior da viga servirá para acompanhar o histórico ao longo do tempo, já que existe possibilidade dessa implementação se expandir para as demais máquinas desenformadoras e guias de coque. O acompanhamento da temperatura é essencial para validar a robustez do sensor. Testes anteriores já foram feitos para a escolha do sensor de medição, a superfície do *buckstay* pode variar em até 15°C quando medido de baixo para cima, variando os resultados em torno de 45°C à 60 °C. Porém existem interferências operacionais que podem ocasionar a parada da máquina em regiões onde a porta do forno pode estar em outro local, ocasionando irradiação de calor de dentro do forno para a viga onde estarão os sensores de medição, por isso é importante monitorarmos a temperatura operacional dos sensores. Um PT-100 com elemento de 100mm e cabeçote para acomodação do conversor analógico de resistência para corrente em 4 à 20mA será utilizado nessa aplicação.

2.4.3 Ligações elétricas

Convém reiterar que as ligações elétricas serão diferentes de uma máquina para outra, uma vez que a desenformadora contém uma rede *PROFIBUS DP* com inversores de frequência e a guia de coque será ligado diretamente no cartão de entradas analógicas do CLP. A Figura 5 representa o esquema de ligação elétrico que será instalado na máquina desenformadora.



Figura 5: Esquema de ligação elétrica na máquina desenformadora
Fonte: Autor

4. RESULTADOS

Para validar o sensor citado nesse trabalho, foi instalado de forma provisória na parte estrutural da Máquina Desenfornadora 3 na região superior, onde os empenos dos *buckstays* acarretam o maior número de falhas devido colisões do Gancho Abridor de Portinholas por transladar muito próximo a região dos metálicos da Bateria de Fornos.



Figura 6 – Método de triangulação
Fonte: (FONSECA, 2017)

Para o registro e armazenamento dos dados para avaliação posterior, foi utilizado um registrador de sinal (corrente elétrica) da Hioki, e um *pendrive* para guardar os dados.

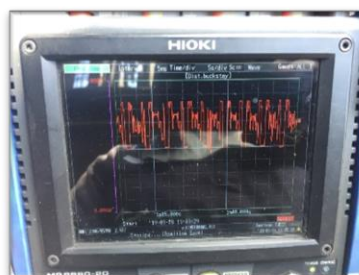


Figura 7 – Método de triangulação
Fonte: (FONSECA, 2017)

Para desenhar o perfil dos *buckstays* ao longo da Bateria, foi escolhido a Bateria 1 devido as condições operacionais estarem favoráveis no dia, a estratégia de medição foi transladar com a Desenfornadora 3 iniciando no final da Bateria e depois voltando pelo mesmo trajeto conforme demonstrado na Figura 8.

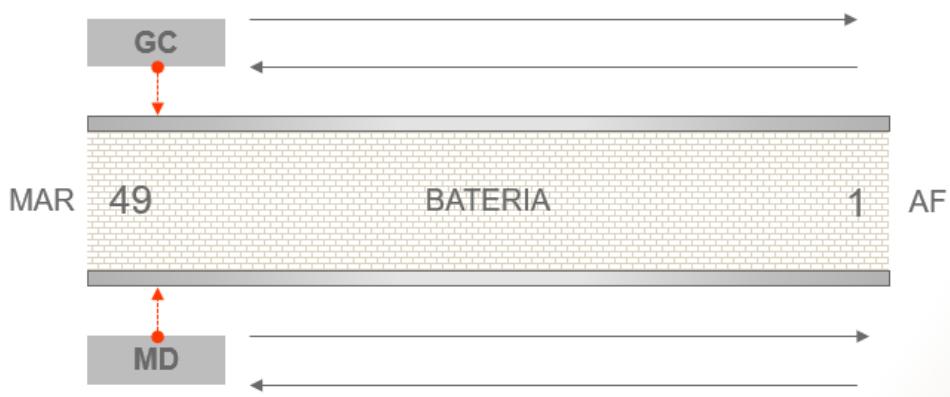


Figura 8 – Método de triangulação
Fonte: (FONSECA, 2017)

Após fazer o movimento de translação ao longo da Bateria de fornos de Coque 1, os resultados obtidos estão na Figura 9.

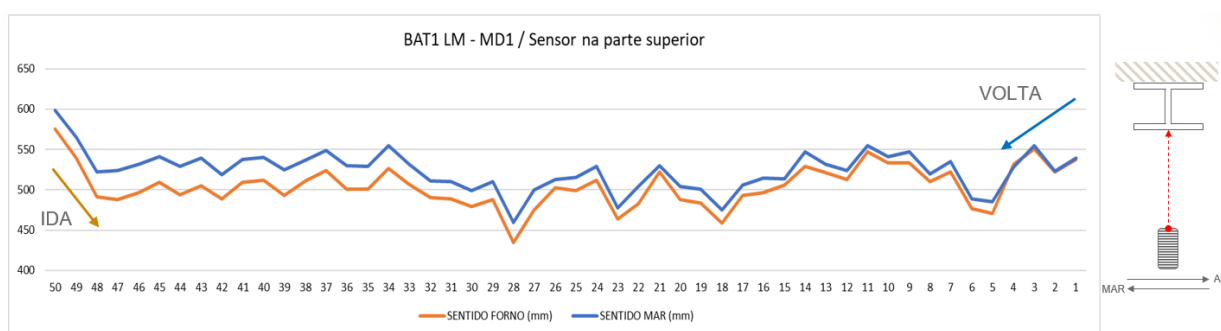


Figura 9 – Método de triangulação
Fonte: (FONSECA, 2017)

O eixo y está em [mm], e o eixo x representa o número do *buckstay* respectivo de cada forno. Um dado interessante que podemos observar no perfil que foi traçado é a variação da posição da máquina em relação ao ponto de medição relacionado ao movimento de ida e de volta, podemos observar que existe uma torção no chassi do equipamento, o que torna a necessidade de adotar um sentido ao fazer a medição, para evitar a variação causada pela torção do chassi. A princípio o sensor respondeu bem ao esperado, a quantidade de amostragens e a precisão na medição atendem ao que foi esperado, uma resolução de mais ou menos 1 mm. Outro ponto importante que pode ser observado conforme a Figura 9 é a amplitude do erro da medição entre os *buckstays*, que representa o quão distante a máquina está da viga metálica instalada.

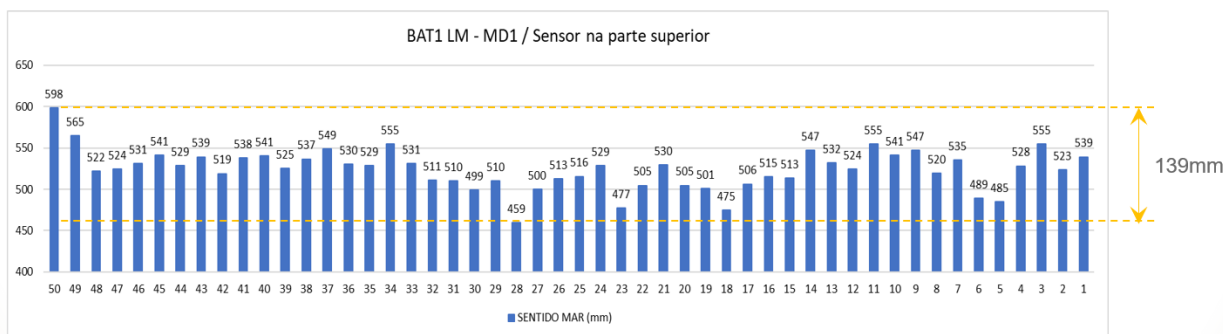


Figura 10 – Método de triangulação
Fonte: (FONSECA, 2017)

A diferença entre o *buckstay* mais próximo para o mais afastado da máquina foi de 139mm. Ainda não sabemos o quanto isso representa para o equipamento, a máquina desenformadora tem um sistema de abertura e fechamento de portinholas onde o gancho responsável pelo movimento é afetado pela posição dessas vigas metálicas, teria que avaliar o projeto mecânico para obter o valor que a máquina compensa. Baseado no gráfico, podemos determinar um valor mínimo que servirá como alerta ou alarme que pode ser configurado no sistema supervisorio para intertravar o equipamento, evitando assim falhas por colisões do gancho com o *buckstay* empenado. Na Figura 10, temos a representação da amostragem da forma que foi coletada pelo registrador da Hioki, nele podemos observar que além do desalinhamento dos *buckstays*, uma torção também é existente, o que serve de informação para a equipe de manutenção atuar para correções.

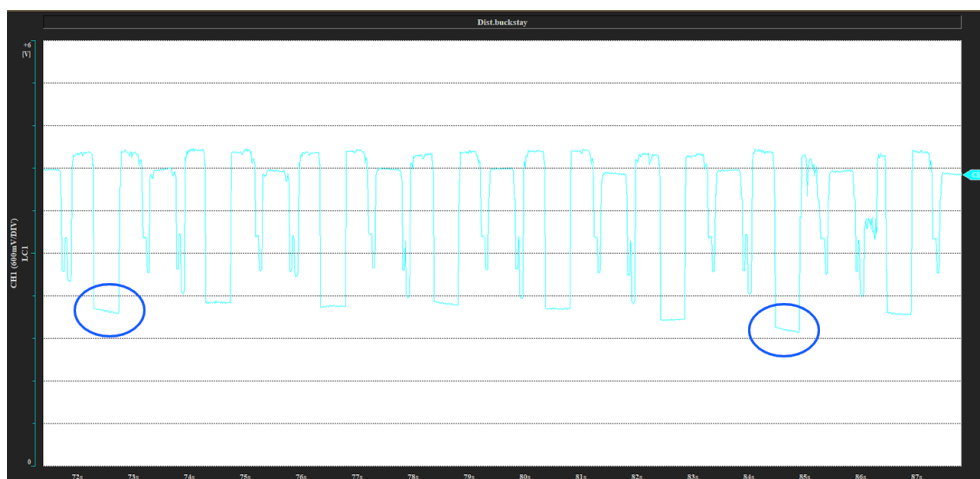


Figura 11 – Método de triangulação
Fonte: (FONSECA, 2017)

Na Figura 11, temos a representação da amostragem da forma que foi coletada pelo registrador da Hioki, nele podemos observar que além do desalinhamento dos *buckstays*, uma torção também é existente, o que serve de informação para a equipe de manutenção atuar para correções.

4. CONCLUSÃO

Em vista dos argumentos apresentados, os testes foram satisfatórios para continuidade da implementação do projeto. A utilização dos sensores de medição por triangulação a laser para medir o deslocamento dos *buckstays* ao longo das baterias de fornos da Coqueria pode contribuir para a execução de topografia, manutenção preditiva pode ser uma ferramenta para evitar colisão entre a função da máquina com a viga metálica, intertravamentos no equipamento podem ser feitos para medidas de controles preventiva, o que melhora a confiabilidade operacional. Todos os objetivos foram alcançados, ressaltando apenas um ponto importante quando a implementação for de fato feita no equipamento, sendo ele adotar um sentido de translação para não gerar erros de medições devido a torção do chassi do equipamento.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Willian Jeferson. **Aplicação industrial de controladores lógicos programáveis, interfaces homem máquina e computadores industriais bosch rexroth**. Pós-graduação departamento acadêmico de eletrônica especialização em automação industrial. Universidade tecnológica federal do paraná. Curitiba, PR. 2013.
- CAVALCANTI, Francisco Alves. **Supervisório/ihm aplicado ao processo de uma coluna de dilatação**. Curso de Especialização em Engenharia de Instrumentação. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. 2008.
- FILHO, José de Castro Ferreira. **Sistema para determinação de penalidades para desvios de especificações em contrato de compra de carvões siderúrgicos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 2007.
- FONSECA, João António Santos Dias. **Distance measurement systems using lasers and their applications**. Academia Militar, Lisboa, Portugal. 2017
- NETO, João Cirilo da Silva; LIMA, Antônio Marcos Gonçalves de. **Implementação do controle de manutenção**. Minas Gerais. 2002.
- PERES, Carlos Roberto Coelho; LIMA, Gilson Brito Alves. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. Dissertação de Mestrado em Sistemas de Gestão. Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ. 2007a.
- PERES, Rafael de Paula. **Redes de comunicação profibus**. Graduação de Engenharia Elétrica. Universidade São Francisco. Itatiba, SP. 2012b.

SILVEIRA, Leonardo; LIMA, Weldson Q. **Um Breve Histórico Conceitual Da Automação Industrial e Redes Para Automação Industrial**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Rio Grande do Norte. 2003.

SOUZA, Rodrigo de Queiroz. **Metodologia e desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva visando à melhoria da confiabilidade de ativos de usinas hidrelétricas**. Dissertação de Mestrado em Sistemas Mecatrônicos, Departamento de Eng.Mecânica. Universidade de Brasília. Brasília/DF. 2008a.

SOUZA, Rodrigo Barbosa de. **Proposta de modelo para controle de custos de manutenção com enfoque na aplicação de indicadores balanceados**. Programa de Pós-Graduação Em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN. 2005b.

TELES, Jhonata. **Manutenção Preditiva: O que é e como ela pode te ajudar!**