

SISTEMA DE MEDIÇÃO DIMENSIONAL DE PLACAS NA MESA DE ROLOS DO CONDICIONAMENTO DE PLACAS DA ARCELORMITTAL TUBARÃO*

Roberto Dalmaso¹
Vinícius Pesente Binotte²
Alan Amorim Margon³
Davi Fiorese Bissolli⁴
Luiz Alberto Moreira Andrade⁵

Resumo

Esse trabalho tem como objetivo apresentar o equipamento de medição automática de placas desenvolvido pela ArcelorMittal Tubarão na área de condicionamento de placas. Anteriormente este processo era realizado de forma manual pelos inspetores. Esse equipamento visa facilitar a rotina de trabalho do inspetor e aumentar a qualidade da medição, assim como diminuir a dispersão dos dados eliminando a divergência nas medições das placas que se verificava entre diferentes operadores, além de possibilitar a criação de um histórico das medidas de toda placa. Para validação do equipamento o mesmo foi submetido a um sistema de análise de medição e teve seu resultado aprovado, no momento atual o mesmo se encontra em funcionamento para se realizar uma comparação estatística do seu desempenho em relação aos inspetores..

Palavras-chave: Medição Automática; Dimensão; Placas; Condicionamento de Placas.

DIMENSIONAL MEASUREMENT SYSTEM OF SLAB ON TABLE OF ROLLS OF SLAB CONDITIONING IN ARCELORMITTAL TUBARÃO

Abstract

The objective of this article is to present ArcelorMittal Tubarão automatic measure system for slab of slab conditioning area. Previously this job was done manually by the inspectors. This equipment make possible work safety for inspectors and increasing the quality of measurements when eliminate the dispersion of data, other point is about the possible of creation of a historical measurement entire slabs. For the validation of the equipment, it was submitted to a measurement system whose present a good result. At present the system is in operation to statistically analyze its performance in relation to the inspectors.

Keywords: Automatic Measurement; Dimensional; Slab; Slab Conditioning.

¹ Mestre em Engenharia Elétrica, Especialista de Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

² Mestre em Engenharia Elétrica, Especialista de Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

³ Engenheiro Metalurgista, Estagiário de Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil.

⁴ Engenheiro Eletricista, Estagiário de Automação, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil

⁵ Técnico em Automação Industrial, Supervisor de Condicionamento, Estocagem e Expedição de Placas, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo - Brasil .

1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Tubarão é uma usina especializada na fabricação de produtos semiacabados, placas e bobinas de aço, destinados a empresas que utilizarão esses materiais para a produção de outros produtos.

Atualmente, a estratégia da ArcelorMittal Tubarão é produzir conforme o pedido do cliente, isto é, não trabalha com produção de placas ou bobinas para estoque. Além da quantidade e do tipo de aço demandados, esses pedidos trazem restrições sobre as dimensões do produto, sendo este o tema a ser discutido neste artigo.

As dimensões das placas e/ou bobinas são extremamente importantes, pois muitas vezes se relacionam a restrições de equipamentos e até a uma questão de melhor aproveitamento do material. Um exemplo seria uma usina que compra placas para produzir bobinas com 1500mm de largura cujo laminador trabalha com placas de até 2000mm. Neste caso comprar uma placa com 2100mm seria contraproducente, devido à necessidade de redução da largura do material e ao risco de danificar o laminador.

A ArcelorMittal Tubarão possui alguns equipamentos para inspeção dimensional e superficial de bobinas, porém, para placas ainda não se havia utilizado nenhuma tecnologia. O processo de verificação desde o início da operação sempre foi feito por inspetores.

Dessa carência relacionada a equipamentos para medição e inspeção de placas surgiu a ideia de desenvolver um equipamento capaz de medi-las automaticamente. Há usinas que possuem equipamentos para realização de medições automáticas, todavia, em sua maioria eles estão posicionados nas saídas dos lingotamentos ou, quando instalados na área de condicionamento de placas, se localizam em saídas de máquinas de escarfação automática.

Medidores na saída de lingotamentos trazem uma grande vantagem para o processo produtivo dada a possibilidade de corrigir distúrbios rapidamente. Por outro lado, apresentam a desvantagem de precisarem funcionar em altas temperaturas e medir placas somente a partir de um único veio. No caso da ArcelorMittal Tubarão seriam necessários seis equipamentos, o que torna essa alternativa uma solução menos viável, considerando a alternativa de ter somente um equipamento no condicionamento de placas.

A área do condicionamento de placas da ArcelorMittal Tubarão não possui máquina de escarfação automática. Isso constituiu um dos fatores de maior dificuldade para o desenvolvimento de um medidor automático. Nesse sentido, o grande desafio foi, portanto, desenvolver um equipamento capaz de medir placas de forma automática enquanto são movimentadas em uma mesa de rolos de 2400mm de largura trabalhando com placas que variam de 750 a 2200mm. Essa variação permite que as peças se movimentem durante a passagem pela mesa, o que não ocorre na saída das máquinas de escarfação.

Com o desenvolvimento deste equipamento esperava-se: facilitar a rotina de trabalho do inspetor e aumentar a qualidade da medição, assim como diminuir a

divergência dos dados de medição das placas verificada entre diferentes operadores; possibilitar a criação de um histórico das medidas registradas de toda placa conforme sua passagem pela mesa de rolos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Visão geral

Na ArcelorMittal Tubarão a necessidade de se realizar a análise dimensional de placas responde a dois objetivos: analisar se as medidas da placa estão dentro dos limites de aceitação definidos pelo cliente e utilizar as medidas para calcular o peso estimado da placa, utilizando para isso a densidade do aço. Esta informação é utilizada para confrontar a informação da balança (última etapa do processo de condicionamento de placas). Caso seja constatada uma diferença superior que 3% um procedimento é realizado para verificação da balança.

Inicialmente, na área de condicionamento de placas, as peças eram medidas pelo inspetor na esteira de transporte. Com vistas à melhora da condição e da qualidade dessas medidas desenvolveu-se um sistema capaz de medir automaticamente as dimensões de placas de aço. Neste sistema qualquer desvio apurado na medição gera uma pendência no sistema do condicionamento para averiguação do inspetor. Não havendo desvios nas medidas a placa segue o fluxo definido pelo sistema do condicionamento.

2.2 Requisitos a serem atendidos

Este projeto foi desenvolvido com o objetivo de medir placas com largura máxima menor ou igual a 2200mm, que somado a um desvio de centro máximo de 200mm, proverá a largura máxima de medição de 2400mm. A largura mínima de medição é de 750mm. Em relação às tolerâncias do equipamento, temos no comprimento a tolerância de +/- 50mm, na largura de +/- 10mm e na espessura de +/- 5mm.

Por uma definição operacional determinou-se que as placas só serão medidas caso sejam instruídas para o equipamento e passem única e exclusivamente no sentido Resfriador/Esteira. Também foi determinado que as placas que passarem no sentido contrário ao descrito *a priori* serão abortadas, logo, o medidor não considerará as medidas dessa operação.

2.3 Visão geral do equipamento

Para o desenvolvimento desse equipamento foi construído um pórtico para a passagem da placa onde foram instalados dois sensores *laser* para medição de distância (LMS400) e um medidor de velocidade (LS9000E). Há, também, uma unidade de comando e processamento acoplada à estrutura. A Figura 1 ilustra um modelo 3D do projeto.

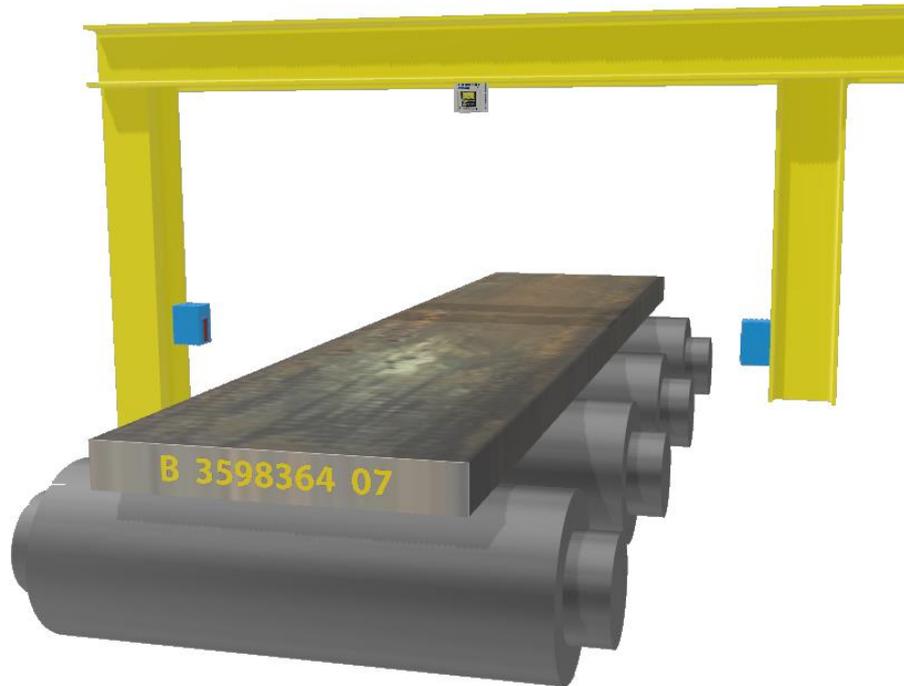


Figura 1: Modelo 3D do medidor automático
Fonte: Próprio autor

A unidade de processamento do medidor é composta por uma remota de cartões de entrada e saída e dois computadores industriais da BeckHoff. Na Figura 2 observam-se as fontes de alimentação, os equipamentos utilizados e as vias de envio e recebimento de dados entre eles. O sensor de velocidade está ligado na remota por meio dos cartões e por esse motivo não parece representado no desenho.

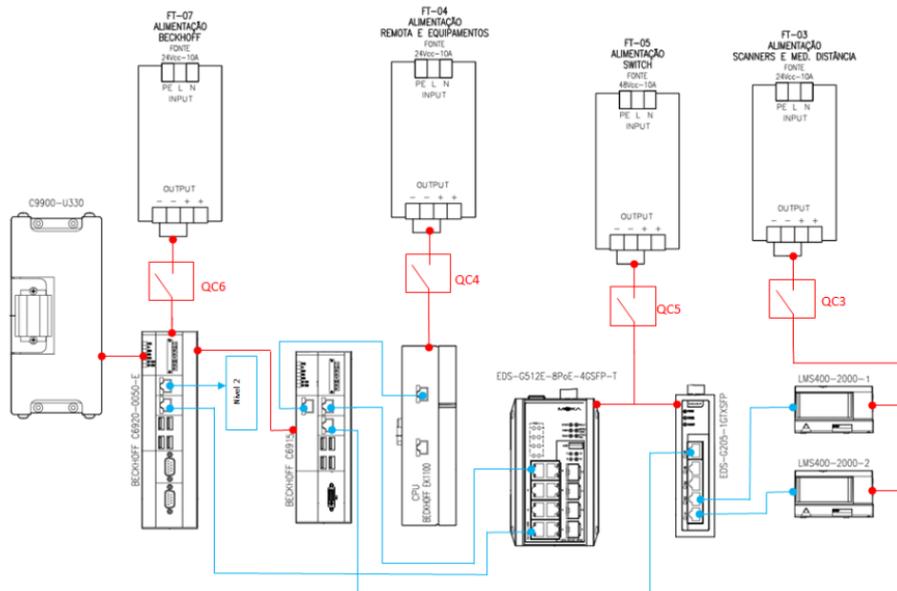


Figura 2: Esquema de ligação elétrica/lógica dos equipamentos
Fonte: Próprio autor

A utilização de dois computadores industriais permite a realização da aquisição de dados separado do seu respectivo processamento. O computador de menor

capacidade de processamento (CP6915) funciona como um *SoftPLC* e está conectado ao sensor de velocidade (via remota) e aos dois sensores de distância (via cabos *Ethernet*). Toda a lógica de aquisição e união dos dados brutos acontece no CP6915.

Os dados brutos são posteriormente disponibilizados para o computador de maior capacidade de processamento (C6920), o qual é responsável pelo tratamento dos dados e, pelo resultado das medidas. É por meio desse computador que é feita também a comunicação com o sistema do condicionamento, tanto o recebimento quanto o envio de informações.

Por intermédio da combinação dos dados obtidos pelos sensores de distância e de velocidade é possível reconstruir um modelo 3D da placa. Na figura 3 observa-se uma representação do funcionamento dos sensores de distância e de velocidade.

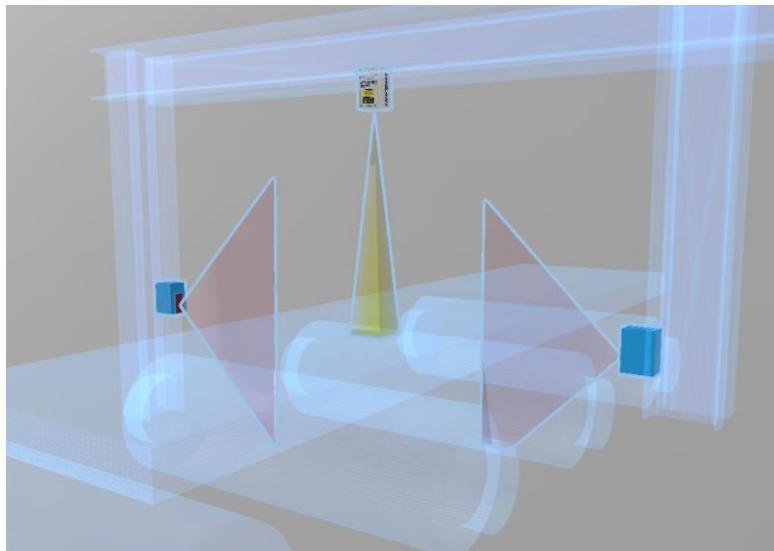


Figura 3: Representação do funcionamento dos sensores
Fonte: Próprio autor

O sensor de distância utilizado foi o LMS400 da Sick (Figura 4). A escolha justifica-se pela variação de larguras das placas que se deseja medir. Um medidor mecânico necessitaria atender esse requisito o que é pouco comum. Na Figura 5 pode ser observado o feixe do laser projetado na placa.



Figura 4: Sensor Sick LMS400

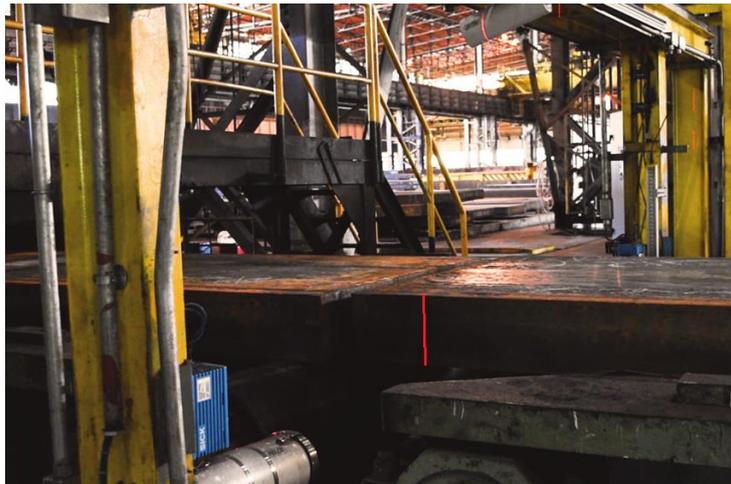


Figura 5: Feixe do laser projetado na placa.
Fonte: Próprio autor

Para a criação do modelo 3D da placa atuam em conjunto o LMS400 e o sensor *laser* de velocidade BETA *Laser Mike* LS9000E (Figura 6). Este é o responsável pela medição de velocidade de translação da placa no sentido da mesa de rolos. Através da integração da velocidade da placa é possível medir seu comprimento. Os medidores da série LS9000 medem o valor absoluto de velocidade usando o efeito *Doppler* por *laser* de feixe duplo, sem contato, eliminando, assim, efeitos de derrapagem e desgaste de rolos de contato e tacômetros. O aparelho tem a capacidade de medir velocidades também em sentido reverso de até 20000 m/min.



Figura 6: BETA *Laser Mike* LS9000E.

O funcionamento do BETA *Laser Mike* inicia quando o medidor recebe a informação, pelo sistema do condicionamento, que uma placa será medida. A partir daí o *laser* começa a monitorar através do sensor de velocidade se existe algum material passando pelo equipamento (MIV – *Material in View* – Material presente). Assim que o material é detectado o sistema começa a gravar as informações dos dois sensores de distância a cada 10mm de translação no sentido do comprimento da placa, sendo essa informação obtida por meio do sensor de velocidade. Tão logo o medidor de velocidade detecta que a placa acabou de passar (perda do sinal MIV), os dados são processados, o modelo 3D da placa é reconstruído e as medidas obtidas.

2.4 Software

Para calcular as medidas das placas o medidor se baseia principalmente no modelo 3D. Para obtê-lo, um dos equipamentos fundamentais é o sensor de distância, LMS400. Os sensores LMS400-2000 medem objetos de qualquer formato e

retornam dados de contorno compostos por posição angular (θ) e distância até o zero em relação à posição angular (r) (Figura 7).

O sistema de coordenadas polares pode ser convertido facilmente para o sistema de coordenadas cartesianas calculando o cosseno e o seno dos ângulos e multiplicando-os pela distância para obtenção dos valores de x e y respectivamente.

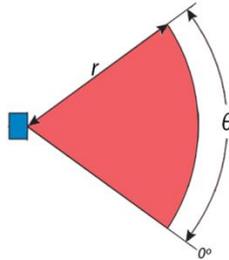


Figura 7: Representação dos dados obtidos pelo LMS400.
Fonte: Próprio autor

A qualidade do valor mensurado depende do tempo disponível para o sensor obter as medidas e calcular o valor da distância. Esse valor é determinado escolhendo-se a resolução angular que será utilizada (o valor de cada passo que o sensor dará entre cada medição).

Quanto maior o passo, maior será o tempo disponível, assim como a confiabilidade da medição. Porém, será obtido um menor número de pontos em relação a uma configuração com menor resolução angular, como se mostra na comparação entre as figuras 8a (maior resolução angular) e 8b (menor resolução angular).

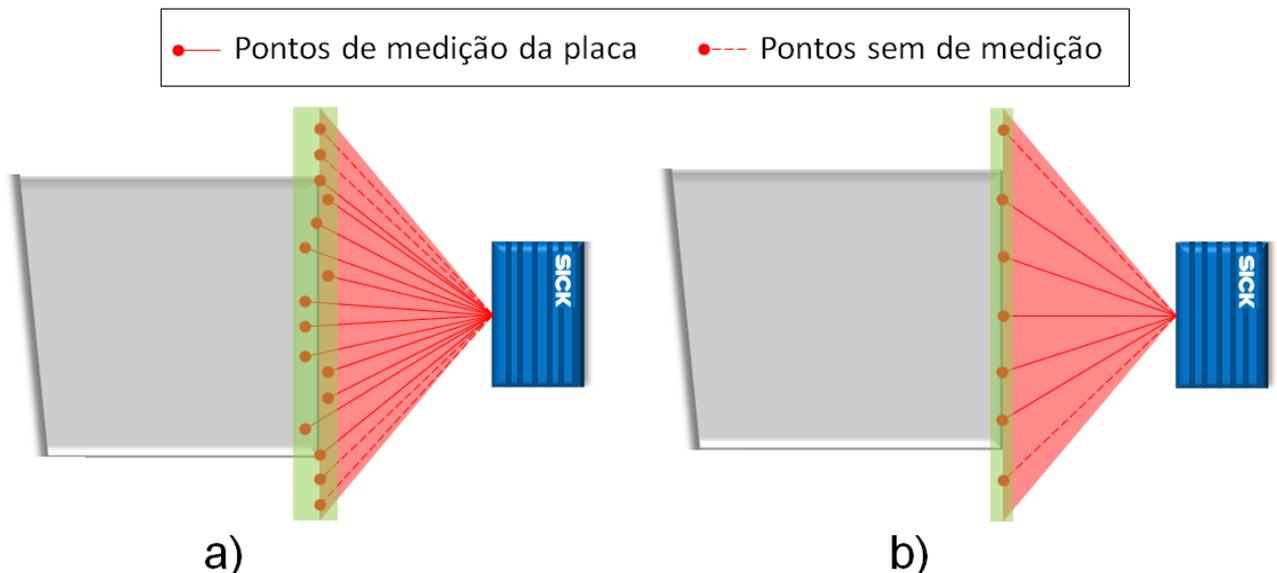
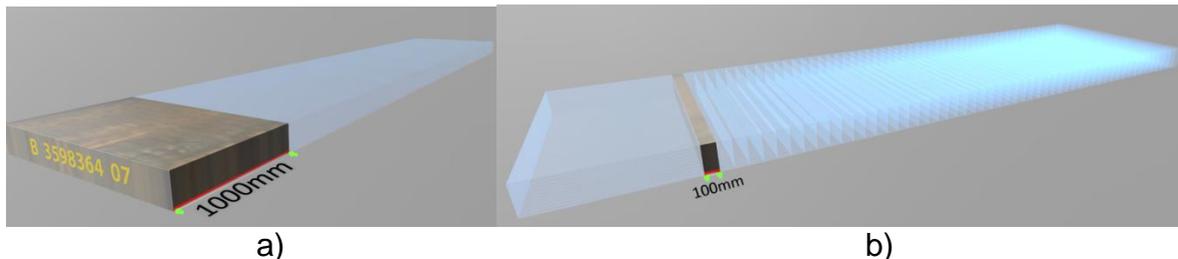


Figura 8: Número de pontos/qualidade de acordo com a resolução angular.
Fonte: Próprio autor

Devido ao dilema gerado pela relação de números de pontos *versus* qualidade, decidiu-se utilizar duas configurações angulares na medição das placas. Nos primeiros 1000 mm da placa o ângulo de movimentação do *laser* entre uma medida

e outra foi configurado para $0,1^\circ$ (Figura 9a) para o qual retorna medidas de distância com menor precisão.

Entretanto, é possível obter um maior número de pontos. Um maior volume de pontos viabiliza o cálculo da espessura da placa com mais exatidão, pois se minimiza a perda de dados das bordas da peça. Esse efeito pode ser observado na Figura 8 em que na 8b é perceptível que os pontos extremos estão mais distantes da borda do que na 8a. Não adiantaria ter uma qualidade muito boa sem os dados das extremidades.



a) b)
Figura 9: Ilustração das seções de 1000mm / 100mm.
Fonte: Próprio autor

No restante da placa o ângulo entre as medições passa a ser de $1,0^\circ$, o que retorna um menor número de pontos, porém, com medidas mais precisas de distância, fator importante para a determinação da largura. Nesse momento não há problema na perda de informações de borda, visto que os dados da região central da placa são suficientes para calcular a largura da mesma conforme demonstrado na Figura 9b.

No software desenvolvido criou-se uma série de filtros e funções para redução dos erros nas medições provocados por fontes intrínsecas ao ambiente industrial, como: partículas suspensas, vibrações, entre outros. Ao se agrupar todos os dados obtidos pelos *lasers*, temos uma nuvem de pontos que, devido a essas variáveis de interferência, necessitará de um processo de filtragem para eliminação de *outliers* (Figura 10).

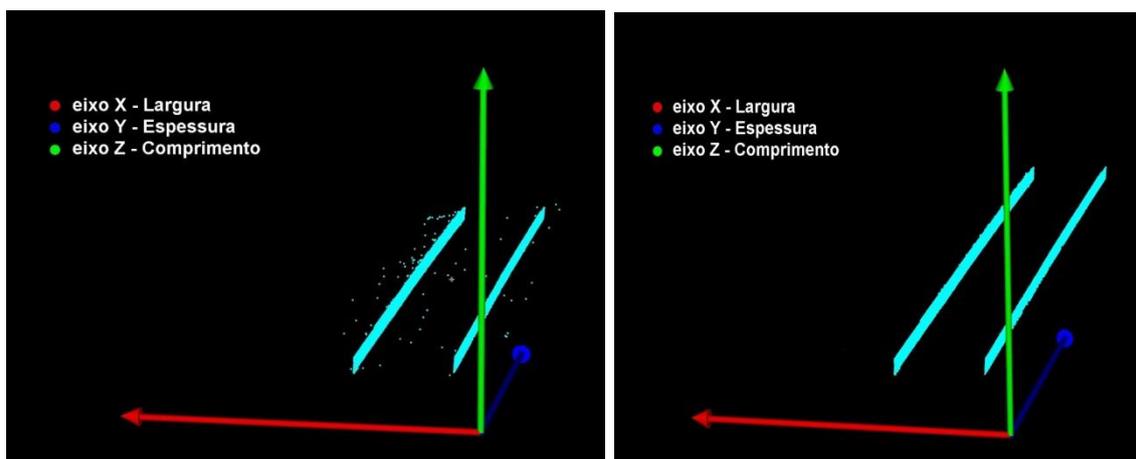


Figura 10: Nuvem de pontos contendo *outliers*.
Fonte: Próprio autor

Outra problema diz respeito à distorção no modelo 3D em função da rotação das placas sobre os rolos durante sua passagem pelo medidor. Para que as medidas

possam ser realizadas se faz necessário reorientar a nuvem para consertar a imperfeição dividindo a mesma em seções de 100 mm ao longo do comprimento. Assim, calcula-se o ângulo de rotação que a placa sofreu através de uma regressão linear para, então, reorientar essa seção. O resultado desse procedimento pode ser visto na Figura 11.

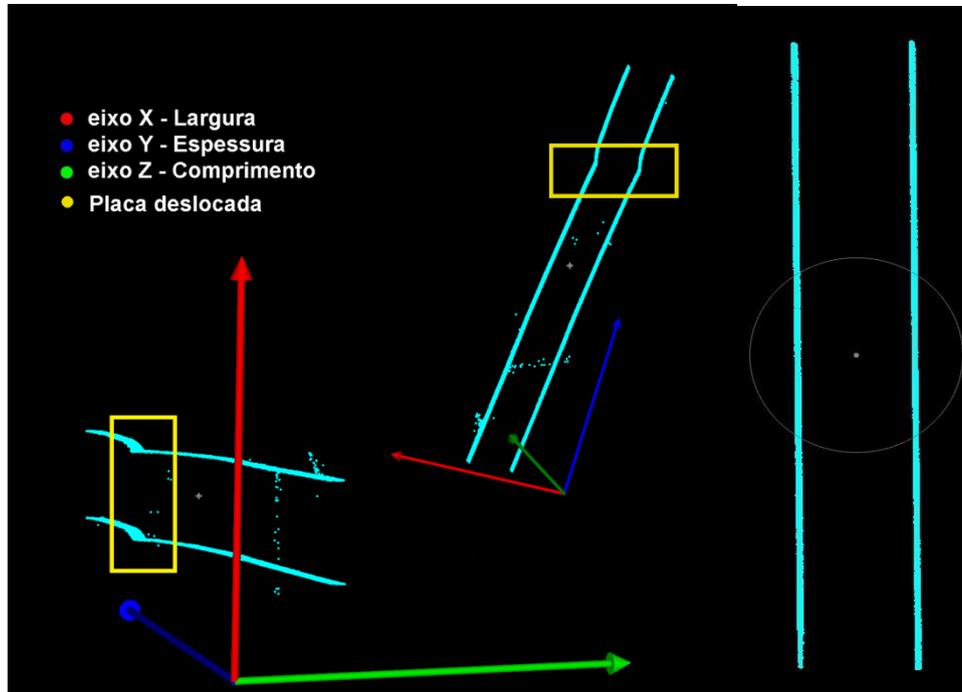


Figura 11: Nuvem de pontos apresentando distorção.
Fonte: Próprio autor

2.5 Cálculo da Largura

A medição da largura da placa é estimada calculando-se a diferença das distâncias das faces laterais da peça até os *scanners* responsáveis pela medição, tendo essas medidas o mesmo referencial. Nesse processo a placa é dividida em seções de 100mm no sentido do comprimento, sendo a largura a distância entre os pontos médios de cada lado. Dessa forma temos uma informação de largura a cada 100mm da placa.

Para se obter maior confiabilidade nas medidas – e sendo elas sensíveis aos *outliers* – o “filtro de vizinhos” é utilizado novamente em cada seção de 100mm, garantindo que esses pontos sejam descartados. Além disso, caso ocorra um erro ou desvio na medição da largura de uma das seções, o algoritmo faz uma média das cinco medidas adjacentes evitando a propagação do erro.

2.6 Cálculo da Espessura

Diferente da largura, a espessura da placa é estimada a partir da média das alturas máxima e mínima dos pontos de cada seção de 100 mm obtidas com a resolução angular dos *scanners* de 0.1°. Para esse cálculo é utilizada a face que possuir maior número de pontos.

Isso se justifica em razão de um dos *scanners* fornecer eventualmente um menor número de pontos do que o outro. Este fato se mostrou presente em uma quantidade pequena de peças testadas e ocorre devido à maior proximidade da placa de um dos *scanners* que, por consequência, terá um maior volume de pontos.

2.7 Cálculo do Comprimento

O comprimento da placa é estimado a partir do sensor de velocidade da peça combinado com a correção de ângulo de entrada e ângulo de rotação da mesma. As correções são calculadas para cada seção de 100mm utilizando a nuvem de pontos, conforme citado anteriormente.

2.8 Calibração

As intempéries intrínsecas do ambiente no qual está localizado o equipamento de medição (vibrações, por exemplo) podem fazer com que haja uma movimentação indesejada dos sensores.

Como os ângulos de trabalho são pequenos, qualquer variação na posição pode provocar um erro considerável nas medições. Além disso, distâncias variadas entre a placa e o sensor mostraram erros diferentes nas medições, exigindo a adição de um pequeno fator de erro que é função da largura das placas.

Buscando solucionar esse problema foi confeccionada uma placa padrão de calibração. Esta placa foi cortada para que apresentasse diferentes larguras e, dessa forma, excitasse o medidor simulando placas de 1 a 2 metros como pode ser visto na Figura 12.



Figura 12: Imagem da placa padrão durante o processo de escaneamento.

Fonte: Próprio autor

A placa confeccionada teve sua superfície mapeada através de um *scanner* de mão certificado (*HandySCAN 3D*), construindo uma nuvem de pontos com os dados mensurados, a fim de servir de padrão de ajuste para as medidas obtidas pelo medidor à *laser*.

Para garantir que o medidor sempre esteja calibrado a placa padrão é passada uma vez ao início de cada turno de trabalho no intuito de identificar se o sistema está calibrado. As medidas obtidas na passagem pelo medidor são comparadas com as

conhecidas, obtidas pelo *scanner*. Essas medidas são feitas da mesma maneira que nas outras placas. A diferença é que são descartadas as regiões de transição entre as diferentes larguras.

Para verificar e validar o equipamento foi realizado o procedimento de MSA (*Measurement System Analysis* - Análise do Sistema de Medição), uma importante ferramenta para melhora da qualidade da medição de dados nos processos da empresa. A MSA consiste em estudos estatísticos que analisam as variações nos dados medidos e, então, se identifica quanto dessa variação provém do sistema de medição.

2.9 Resultados

Para avaliar se o equipamento atende ou não aos objetivos propostos realizou-se o MSA. As técnicas do MSA têm ampla aplicação nos processos produtivos, em que devem ser aplicadas a quaisquer sistemas de medição que visem controlar a qualidade, monitorar processos ou definir a aceitação ou não de um resultado de processo.

Para validação do sistema de medição foram realizados testes passando a placa padrão pelo medidor durante 15 dias ao início de cada turno e comparado os resultados das medidas com o modelo do *scanner*. Os resultados obtidos foram muito positivos e o equipamento foi aprovado no MSA.

Os resultados mostraram que o equipamento atende aos critérios pré-definidos, apresentando variação na largura de +/- 7mm e na espessura de +/- 3mm. Na espessura foi recomendado utilizar placas com espessuras diferentes já que a placa padrão tem uma única espessura de 225mm.

Em relação ao ganho de produtividade, a operação do medidor automático de placas permitiu diminuir a exposição dos operadores ao risco, além de possibilitar que o tempo antes despendido nessa atividade fosse direcionado para atividades de maior valor agregado.

3 CONCLUSÃO

Mesmo com o MSA aprovado a equipe de assistência técnica da ArcelorMittal Tubarão recomendou que o medidor opere em paralelo com a forma antiga de medição a fim de garantir que não ocorram falhas que possam ocasionar qualquer tipo de danos ou problemas aos clientes.

Durante esse período serão comparadas todas as medidas feitas pelo medidor e pelos inspetores a fim de analisar estatisticamente sua estabilidade e se de alguma forma o equipamento impactará a produção uma vez que serão analisadas situações em que o equipamento reprovou placas que o inspetor aprovou.

Um ponto muito relevante de ser apontado é a dificuldade de medir automaticamente placas que possuem uma liberdade de movimentação tão grande. Superar computacionalmente essa condição operacional impactou significativamente

o tempo de desenvolvimento e impossibilitou trabalhar com tolerâncias ainda menores.

Além das informações de largura a cada 100mm esse projeto possibilitará acoplar ao equipamento um sistema de inspeção visual das placas, trabalho esse que já em desenvolvimento.

Agradecimentos

A todas às pessoas de diferentes departamentos envolvidas desde a concepção da ideia, o desenvolvimento até a validação dos resultados obtidos e as empresas que participaram no processo de montagem e especificação/fornecimento dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- 1 Sensores 2D-LiDAR - LMS4xx / Indoor. 2019 [acesso em 20 mai. 2018]; Disponível em: <https://www.sick.com/br/pt/solucoes-de-medicao-e-deteccao/sensores-2d-lidar/lms4xx/lms400-1000/p/p109851>.
- 2 Beta LaserMike to show laser measurement system at Labelexpo. 2019 [acesso em 21 mai. 2018] Disponível em: <http://www.labelsandlabeling.com/news/new-products/beta-lasermike-show-laser-measurement-system-labelexpo>
- 3 HandySCAN300 & HandySCAN700 3D Scanners. 2019 [acesso em 23 ago. 2019] Disponível em: <https://www.cati.com/3d-scanning/creaform-3d-scanners/handyscan/>.