

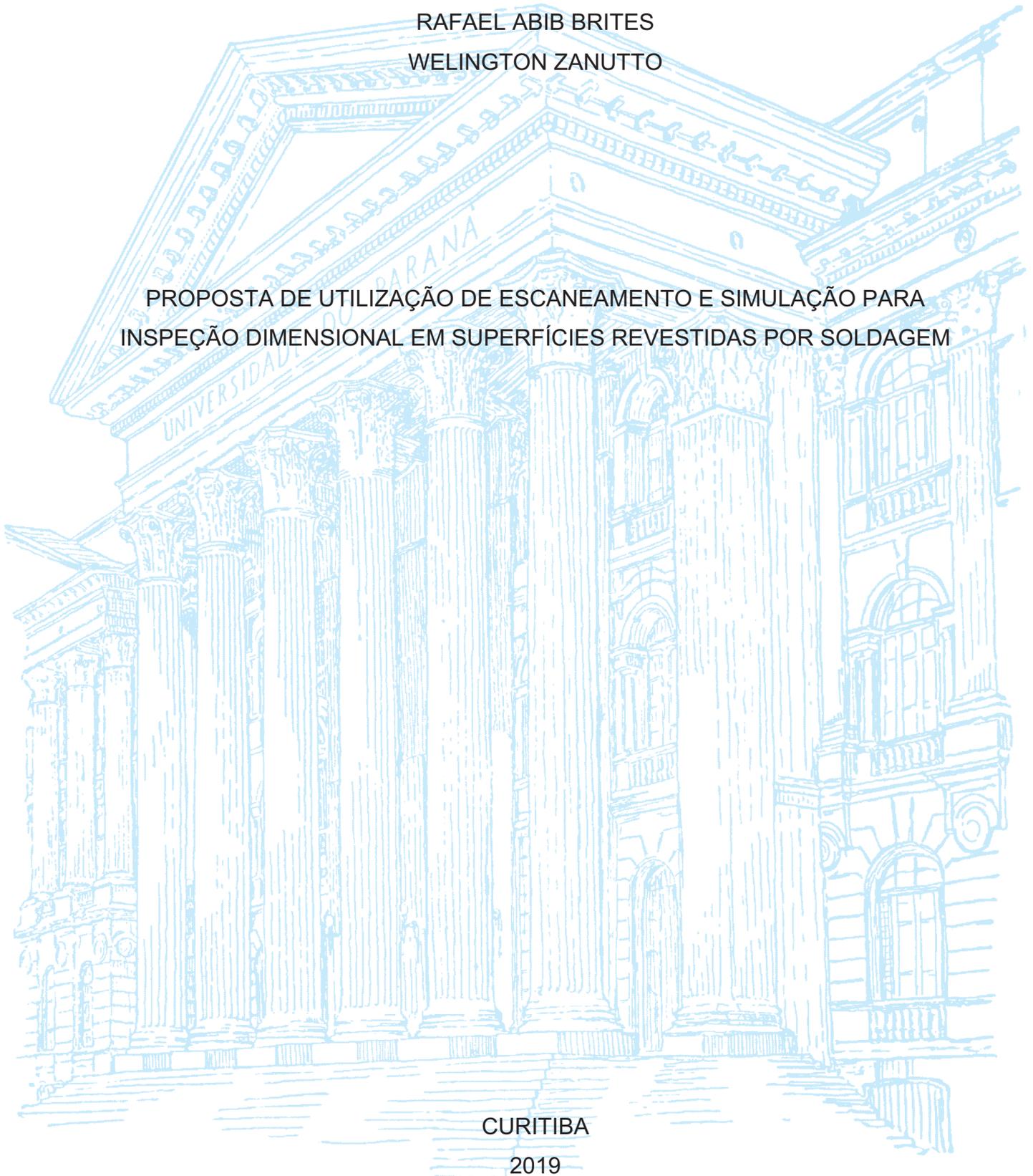
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANO FERREIRA DA CRUZ

RAFAEL ABIB BRITES

WELINGTON ZANUTTO

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO E SIMULAÇÃO PARA
INSPEÇÃO DIMENSIONAL EM SUPERFÍCIES REVESTIDAS POR SOLDAGEM



CURITIBA

2019

ADRIANO FERREIRA DA CRUZ
RAFAEL ABIB BRITES
WELINGTON ZANUTTO

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO E SIMULAÇÃO PARA
INSPEÇÃO DIMENSIONAL EM SUPERFÍCIES REVESTIDAS POR SOLDAGEM

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Industrial 4.0, Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Industrial 4.0.

Orientador: Prof. Dr. Pablo David Valle

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

ADRIANO FERREIRA DA CRUZ

RAFAEL ABIB BRITES

WELINGTON ZANUTTO

PROPOSTA DE UTILIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO E SIMULAÇÃO PARA INSPEÇÃO DIMENSIONAL EM SUPERFÍCIES REVESTIDAS POR SOLDAGEM

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Industrial 4.0, Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Industrial 4.0.

Prof. Dr. Pablo David Valle

Orientador – Departamento de Engenharia Mecânica

Universidade Federal do Paraná - UFPR

Cidade, 06 de Março de 2020.

Dedicamos esse trabalho aos nossos filhos, Rafaela (Rafael), Davi e Gabriel (Wellington) e a todos as crianças das nossas famílias. É para elas toda nossa dedicação.

AGRADECIMENTOS

Queremos agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta caminhada.

Adriano: Quero agradecer a minha esposa Karyne, por todo apoio e incentivo durante essa caminhada e também de compreensão nos momentos de ausência e dedicação ao curso.

Rafael: Não poderia deixar de agradecer minha família e meus amigos que me apoiaram e me incentivaram nessa importante etapa da minha vida, especialmente meus pais Leila e Augusto e meus irmãos Allexandre e Luís Guilherme que estimularam e estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis. Minha esposa Carolina e minha filha Rafaela que sempre me motivaram a compreenderem minha ausência nesse tempo dedicado aos estudos.

Wellington: A minha esposa Lucimara e filhos Davi e Gabriel por todo apoio durante o curso.

Ao Prof. Dr. Pablo David Valle, coordenador do curso de Pós-Graduação em Engenharia Industrial 4.0, da Universidade Federal do Paraná, pelo entusiasmo e dedicação durante todo o curso.

A todos os Professores e Palestrantes, que participaram do curso, nosso muito obrigado, por compartilhar conosco suas experiências.

A todos os colegas, da primeira turma do curso de Pós-Graduação em Engenharia Industrial 4.0, da Universidade Federal do Paraná.

Lembre-se de que os motivos fazem diferença. Concentre-se em excelentes produtos e não em tornar-se o maior ou o mais rico (Steve Jobs, 2008).

RESUMO

A Simulação, dentro do contexto da Indústria 4.0, assume um papel de suma importância, tanto na validação de protótipos, na fase de projeto de um produto; como nas linhas de produção, nas quais se pode previamente, identificar pontos críticos ou falhos para serem corrigidos. Neste trabalho, é proposta a utilização do escaneamento digital e da simulação como instrumento de inspeção dimensional em superfícies revestidas por soldagem. Mais especificamente, em rotores de Válvulas Dosadoras de Cavacos, que durante seu processo de recuperação, necessitam ser revestidos para eliminar os desgastes presentes em sua superfície e para constituir uma nova dimensão do rotor, para que este seja operável com a nova dimensão da camisa da Válvula. No entanto, durante o processo de usinagem dos rotores, ou seja, após o revestimento, existe a ocorrência de muitos retrabalhos devido o sobremetal de usinagem ser insuficiente. Isso acarreta vários distúrbios na programação de chão de fábrica, paradas de máquina, perdas de setup, filas de espera, além do custo do retrabalho propriamente dito. Logo, com o escaneamento do rotor ainda no setor de soldagem, seguido da simulação e comparação entre o modelo escaneado “revestido” com o modelo “usinado” teórico, seria possível identificar e mapear as regiões com falta de material depositado, utilizando-se um esquema de sobreposição dos modelos 3D e diferenciação de cores. Isso permitirá que a liberação do rotor para o setor de usinagem seja feita de forma mais assertiva, considerando que não haverá regiões com falta de material na superfície do rotor e, conseqüentemente, não se terá interrupções durante a execução da usinagem, seguido de perdas de setup, movimentações desnecessárias, filas de espera, dentre outros inconvenientes. Além disso, teremos dados que servirão de suporte para a Engenharia de Soldagem com relação à otimização dos parâmetros de solda. No entanto, sendo que a empresa que realiza o revestimento e a usinagem do rotor não dispõe ainda de um dispositivo que permita realizar o escaneamento, está sendo proposta a subcontratação de uma empresa que realize o escaneamento para gerar o modelo do rotor ainda na condição de revestido, ou seja, antes da liberação para o processo de usinagem; isso até que se realize um estudo e liberação de budget para aquisição de um dispositivo de escaneamento próprio, tendo em vista que esta solução pode ser aplicada em outros tipos de equipamentos que requer reconstrução dimensional, bem como simulações no ambiente fabril e também engenharia reversa.

Palavras chave: Indústria 4.0, Simulação, Escaneamento 3D

ABSTRACT

The simulation, within the context of Industry 4.0, assumes an extremely important role, both in the validation of prototypes, in the design phase of a product; as in the production lines, where you can previously identify critical or flawed points to be corrected. In this work, it is proposed to use digital scanning and simulation as a tool for dimensional inspection on surfaces coated by welding. More specifically, in Chip Dosing Valves rotors, which during their recovery process, need to be coated to eliminate the wear present on its surface and to constitute a new dimension of the rotor, so that it is operable with the new dimension of the liner valve. However, during the machining process of the rotors, that is, after coating, there is a lot of rework due to insufficient machining allowance. This causes several disturbances in the shop floor programming, machine stops, loss of setup, waiting lines, in addition to the cost of the rework itself. Ergo, with the scanning of the rotor still in the welding sector, followed by simulation and comparison between the scanned “coated” model and the theoretical “machined” model, it would be possible to identify and map the regions with a lack of deposited material, using a overlapping scheme of 3D models and color differentiation. This will allow the release of the rotor to the machining sector to be done in a more assertive manner, considering that there will be no regions with a lack of material on the rotor surface and, consequently, there will be no interruptions during the machining execution, followed by losses of setup, unnecessary movements, waiting lines, among other inconveniences. In addition, we will have data that will support the Welding Engineering regarding the optimization of the welding parameters. However, the company that performs the coating and machining of the rotor does not yet have a device that performs the scanning, it is being proposed to subcontract a company that performs the scanning to generate the rotor model still in the condition of coated, that is, before being released for the machining process; this until a study and budget release is made for the acquisition of a scanning device, considering that this solution can be applied to other types of equipment that require dimensional reconstitution, as well as simulations in the manufacturing environment and also reverse engineering.

Keywords: Industry 4.0, Simulation, 3D scanning

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Vista Isométrica de uma Válvula Dosadora de Cavacos.....	12
FIGURA 2 - Vista Explodida de uma Válvula Dosadora de Cavacos	13
FIGURA 3 - Camisa e Rotor de uma Válvula Dosadora de Cavacos	13
FIGURA 4 - Método Atual de Inspeção e Liberação dos Rotores para a Usinagem	16
FIGURA 5 - Rotor Durante Processo de Revestimento por Soldagem.....	16
FIGURA 6 - Rotor Durante Processo de Usinagem (Torneamento).....	17
FIGURA 7 - Evidência da Falta de Material em Determinadas Regiões do Rotor....	18
FIGURA 8 - Os Pilares da Indústria 4.0	21
FIGURA 9 - Rotor (Físico) Revestido por Soldagem, através do Processo Arco Submerso.....	22
FIGURA 10 - Rotor Revestido (Virtualmente) Criado a partir de Modelo Tridimensional (<i>SolidWorks</i>).....	23
FIGURA 11 - Rotor (Modelo Tridimensional Virtual) Revestido por Soldagem Via SolidWorks.....	24
FIGURA 12 - Rotor Usinado Final, ou Modelo Teórico (Modelo Tridimensional) Via SolidWorks.....	24
FIGURA 13 - Simulação ente os Modelos do Rotor “Revestido versus Rotor “Usinado”	25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTO	11
1.2 SITUAÇÃO PROBLEMÁTICA.....	14
1.3 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS	14
2 ESTADO ATUAL	15
3 HIPÓTESE DE SOLUÇÃO	20
3.1 CONCEITOS TEÓRICOS	20
3.2 METODOLOGIA.....	21
3.3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.4 SIMULAÇÃO	23
4 RESULTADOS OBTIDOS	25
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
5.1 VANTAGENS	26
5.2 DESVANTAGENS OU LIMITAÇÕES.....	27
6 CONCLUSÕES	28
6.1 SUGESTÕES PRÓXIMOS PASSOS.....	28
REFERÊNCIAS	29
APÊNDICE 1 – CRONOGRAMA PARA EXECUÇÃO DO RETRABALHO EM UM ROTOR	30
APÊNDICE 2 – CANVAS DE IDEIAÇÃO	31

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

A manutenção, recuperação ou reparo de equipamentos utilizados em uma planta de fabricação de celulose é de grande importância para garantir o bom funcionamento da fábrica. Por isso, se torna extremamente estratégico manter alguns equipamentos reserva para possibilitar o tempo de recuperação dos equipamentos; tendo em vista o longo tempo de *lead time* da recuperação destes, a logística e as atividades relacionadas às paradas e *startup* das fábricas. Mais especificamente, na área de cozimento da planta de celulose, tem-se um equipamento denominado: “Válvula Dosadora de Cavacos”, equipamento este que opera de forma contínua e que alimenta o digestor da planta, sendo um dos principais itens da planta industrial.

O processo de recuperação da “Válvula Dosadora de Cavacos” consiste em uma parada programada da planta industrial, seguido da desinstalação do equipamento a recuperar, instalação do equipamento reserva e *startup* deste. O equipamento a recuperar é então encaminhado para o fabricante, no caso empresa metalúrgica líder global em fornecimento de tecnologias para indústrias de Papel, Celulose e Energia através de biomassa, a qual irá proceder com o reparo do mesmo.

Abaixo, a *Figura 1* mostra a “Válvula Dosadora de Cavacos”, equipamento de grande porte que possui massa de aproximadamente 40 toneladas. O equipamento ao chegar na empresa responsável para proceder com a recuperação é submetido a um processo bastante criterioso de avaliação, no qual é verificado o dimensional de todos os seus componentes, bem como realizado ensaios não destrutivos naqueles componentes mais críticos definidos pela engenharia de manufatura ou com histórico de problemas.



FIGURA 1 - Vista Isométrica de uma Válvula Dosadora de Cavacos

FONTE: O autor (2019).

Conforme já citado acima, durante o processo de avaliação do equipamento, é realizada a inspeção dimensional de todos os seus componentes, bem como executado ensaios não destrutivos nos itens mais críticos, tais como: ensaio de líquido penetrante, partícula magnética e ultrassom, visto que é um equipamento muito suscetível à fadiga. Porém, em dois de seus itens, a Camisa e o Rotor, por apresentarem desgastes em suas superfícies, passam por avaliações específicas, além daquelas já citadas. Por exemplo, na Camisa é executada uma usinagem em seu interno, utilizando um torno vertical de grande porte. Esta usinagem deve atender uma conicidade de 1:20, conforme estabelecido pelo projeto da mesma. Além disso, o torneamento interno da Camisa deve eliminar todo e qualquer desgaste que esteja presente em sua superfície, desde que não ultrapasse a espessura mínima requerida pelo projeto.

A *Figura 2* a seguir, mostra a vista explodida de uma Válvula Dosadora de Cavacos, a qual deverá ter todos seus componentes inspecionados e relatados, para que seja possível elaborar o escopo do reparo, bem como apresentar proposta comercial ao cliente. Estes dados deverão ser arquivados no *databook* do equipamento, o qual será entregue ao cliente após ser executada toda a recuperação.

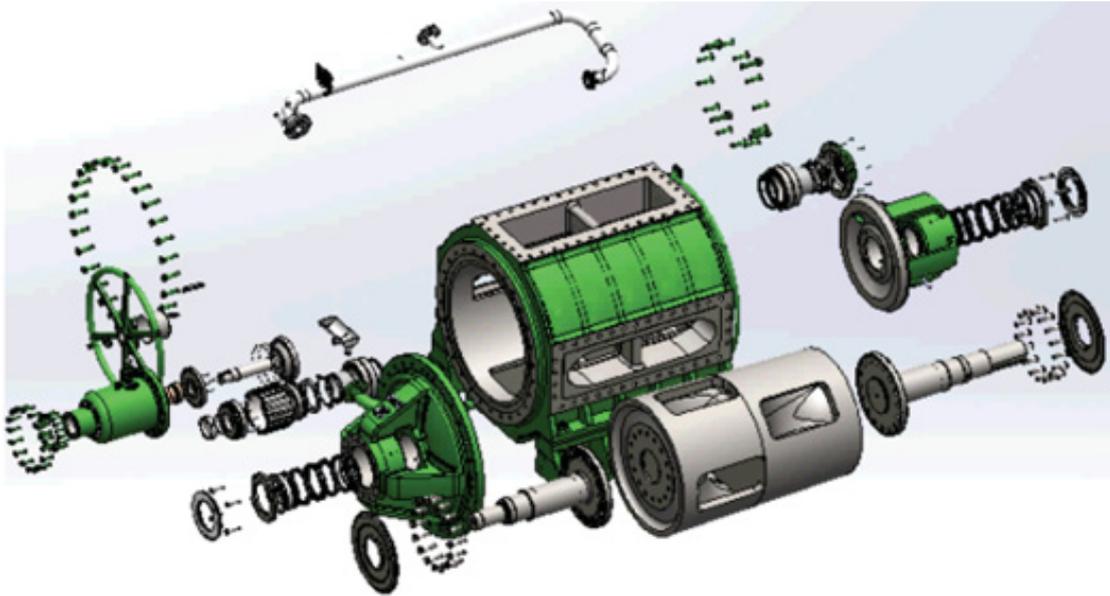


FIGURA 2 - Vista Explodida de uma Válvula Dosadora de Cavacos

FONTE: O autor (2019).

Após executado o torneamento interno da Camisa na conicidade de 1:20, se torna indispensável realizar a reconstituição da superfície do Rotor, primeiro para eliminar os desgastes remanescentes em sua superfície e, segundo, para recompor o seu dimensional, de modo a ser compatível com a nova dimensão da Camisa, que fora usinada anteriormente. A recomposição do dimensional do Rotor é feita por soldagem através do processo de arco submerso; além disso, esta recomposição deverá garantir o sobremetal necessário para a posterior usinagem do Rotor. A seguir, a *Figura 3* mostra a imagem da Camisa e do Rotor.

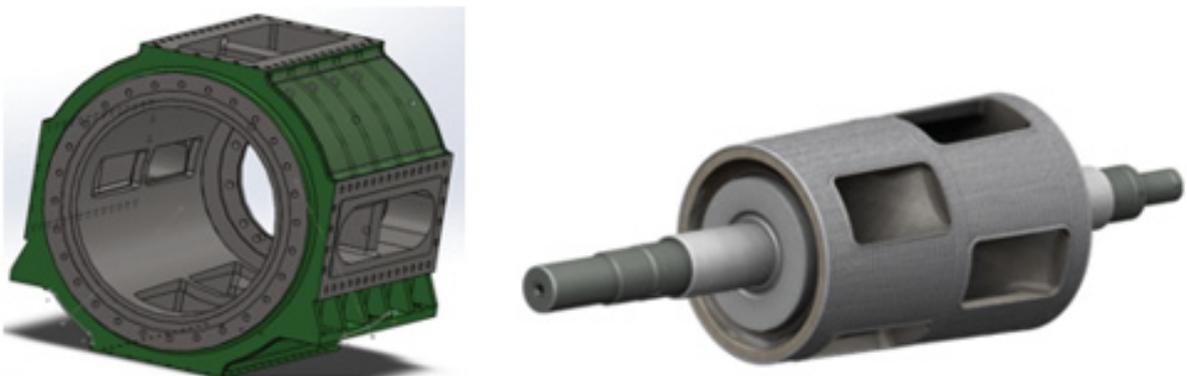


FIGURA 3 - Camisa e Rotor de uma Válvula Dosadora de Cavacos

FONTE: O autor (2019).

1.2 SITUAÇÃO PROBLEMÁTICA

A demanda anual de recuperação de Válvulas Dosadoras de Cavacos gira em torno de 18 (dezoito) unidades; sendo que o maior inconveniente durante todo o processo de recuperação está relacionado com o retrabalho causado pela falta de material depositado na superfície do Rotor. Esta constatação somente é detectada durante o processo de torneamento do Rotor, quando este já está revestido, o que gera vários inconvenientes. Diante do histórico levantado pela área da Qualidade, cerca de 2/3 dos rotores apresenta algum tipo de falta de material em suas superfícies, o que acaba por interromper a usinagem, devido à necessidade de recompor a região falha. Com isso, geram-se muitos distúrbios no chão de fábrica, tais como: perda do *setup* da máquina de usinagem de grande porte, fila de espera de solda para execução da solda de retrabalho, nova fila de espera na máquina de usinagem, novo *setup* e comprometimento em outros trabalhos, que por ventura foram interrompidos. Ou seja, toda a programação de chão de fábrica fica comprometida por conta deste retrabalho, impactando tanto o custo, como prazo de entrega do equipamento.

1.3 JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS

Diante dos distúrbios gerados no chão de fábrica, busca-se reduzir e/ou eliminar o retrabalho de solda nos rotores; pois em termos de perda de tempo, constatamos a perda média de 7 (sete) dias úteis, contabilizando as filas, os *setups* e tempo de execução do retrabalho de solda. A princípio, um valor aceitável para retrabalho de algum Rotor, passaria dos atuais 12 (doze) rotores, para no máximo 1 (um) rotor por ano. Desta forma, o objetivo deste trabalho seria o de propor algum meio de inspeção dimensional por escaneamento digital da superfície revestida por soldagem, de modo a garantir que toda a superfície do Rotor esteja com material suficiente que permita a usinagem do mesmo, sem interrupções retrabalhos ou excessos de solda.

2 ESTADO ATUAL

Conforme já citado anteriormente, cerca de 12 (doze) rotores por ano necessitam de retrabalho de solda por conta da falta de material em algumas regiões de suas superfícies. Sendo que na grande maioria das vezes, essas falhas, somente são constatadas na operação de usinagem, o que resulta em setups não programados e filas de espera. Isso implica em aproximadamente 84 (oitenta e quatro) dias úteis perdidos no chão de fábrica por ano.

Considerando os valores atuais de taxa hora, essa perda anual resulta num custo de R\$ 400.000,00/ano. Além de conflitos e desgastes gerados com o cliente relacionados aos prazos de entrega. Tendo em vista que o cliente está operando com um equipamento reserva e não poderá agir rapidamente caso houver alguma emergência.

Atualmente, o controle dimensional da superfície revestida dos rotores é feito de forma manual e convencional, sendo de difícil assertividade e confiabilidade, utilizando-se de fita "PI" e de calibres tipo compassos de verificação da dimensão. A dificuldade em relação à assertividade da inspeção é proveniente dos picos e vales formados durante o processo de soldagem, dos desgastes remanescentes que devem ser reconstituídos e da tridimensionalidade da superfície cônica do Rotor.

A *Figura 4* a seguir, indica como é feita atualmente a inspeção e a liberação do Rotor revestido para a usinagem, o que na maioria das vezes se mostra ineficiente, devido ao alto índice de retrabalhos por falta de material. Além do mais, é importante salientar que o excesso de material depositado também é um inconveniente, pelo alto custo dos materiais consumíveis de solda e pelo maior tempo de usinagem que seria necessário.

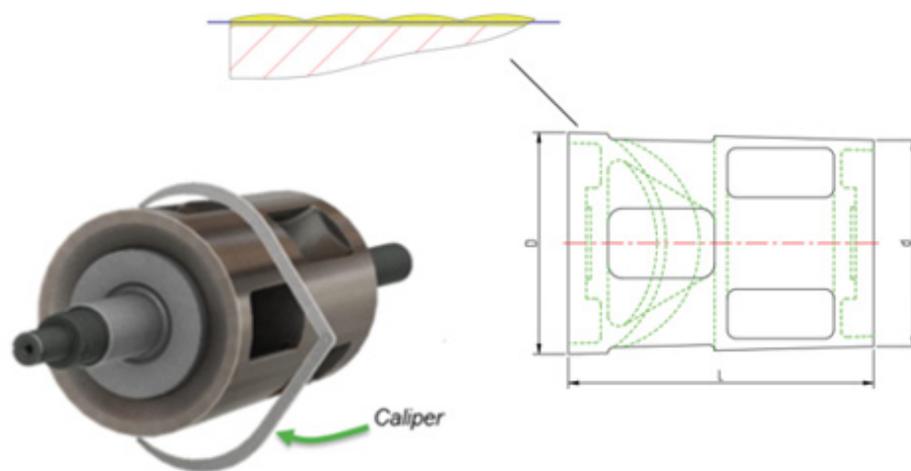


FIGURA 4 - Método Atual de Inspeção e Liberação dos Rotores para a Usinagem
FONTE: O autor (2019).

Na *Figura 5* a seguir, temos um Rotor durante o processo de revestimento por soldagem.

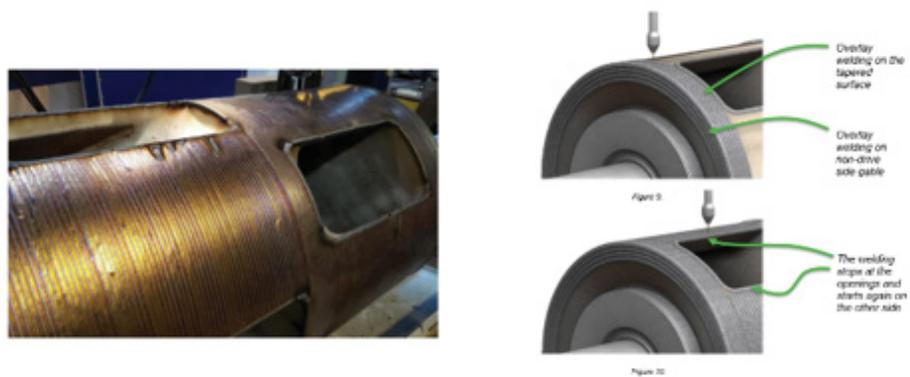


FIGURA 5 - Rotor Durante Processo de Revestimento por Soldagem
FONTE: O autor (2019).

Na *Figura 6* a seguir, temos um Rotor durante processo de usinagem em um torno vertical.



FIGURA 6 - Rotor Durante Processo de Usinagem (Torneamento)

FONTE: O autor (2019).

Na região com falta de material, conforme é mostrado na *Figura 7* constatou-se a necessidade de depositar mais solda a fim de garantir a usinagem. Este retrabalho de solda resultou na perda do *setup* do torno vertical, bem como tempo de espera no posicionador de solda para refazer a soldagem na região, execução da soldagem propriamente dita, nova fila de espera no torno e novo *setup* deste.



FIGURA 7 - Evidência da Falta de Material em Determinadas Regiões do Rotor

FONTE: O autor (2019).

No anexo I, temos um cronograma que mostra o tempo decorrido no retrabalho de um Rotor devido à falta de material depositado em sua superfície. Segundo levantamento feito pela área de PCP, neste reparo teve-se um atraso de 7,44 dias ocasionados única e exclusivamente pelo retrabalho.

Além dos custos explícitos nos retrabalhos dos rotores, que não é somente os custos envolvidos na soldagem, temos também os custos implícitos, como os tempos perdidos nas filas de espera e distúrbios no chão de fábrica. Estes inconvenientes podem inclusive gerar fatores que comprometem a entrega de outros trabalhos, visto que, tanto os recursos de solda (arco submerso), como os recursos de usinagem (torno vertical) são recursos de restrição (gargalos) no processo de recuperação de outros equipamentos.

O que também se deve levar em consideração é o prazo de entrega do equipamento, pois uma vez firmado uma data com o cliente, fica extremamente difícil renegociá-la em virtude de algum atraso, principalmente quando se trata de alguma parada programada no cliente. O fato é que uma vez definida a data de entrega do equipamento juntamente com o cliente, este realiza todo o seu planejamento de parada e isso envolve muitas variáveis que não são controladas e podem comprometer tanto a parada como o *startup* da planta industrial, caso o equipamento não estiver disponível.

O planejamento elaborado pelo cliente diante de uma parada envolve dentre as ações:

- *Contratação de mão de obra para desinstalação/instalação do equipamento;*
- *Acompanhamento e supervisão dos trabalhos;*
- *Questões relacionadas à segurança e meio ambiente (documentação);*
- *Locação de guindastes;*
- *Controle da produção antes da parada (gerar pulmões);*
- *Fluxo de vapor e manobras na caldeira;*
- *Parada de planta química e da planta de cal (fornece insumos para cozimento);*
- *Parada da depuração e de processos pós cozimento;*
- *Dentre outras.*

3 HIPÓTESE DE SOLUÇÃO

3.1 CONCEITOS TEÓRICOS

O termo “Indústria 4.0” ou “Quarta Revolução Industrial” começou a ser utilizado primeiramente na Alemanha, em 2011, na Feira de Hannover. SCHWAB KLAUS (2016) diz que a Quarta Revolução Industrial cria um mundo no qual, sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível. No entanto, esta revolução não diz respeito somente a sistemas e máquinas inteligentes conectadas. Seu escopo é muito mais amplo, sendo uma fusão de diversas tecnologias e interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos.

STEVAN JUNIOR, SÉRGIO LUIZ (2018), cita que a Indústria 4.0 apresenta um processo de comunicação entre os diferentes dispositivos e níveis industriais, buscando ser responsável pelo aumento de produtividade, mudanças na economia, promoção do crescimento industrial e modificação do perfil da força de trabalho, com conseqüente transformação da competitividade entre empresas e regiões. Dentro deste contexto, cita ainda que o processo de manufatura deve estar totalmente mapeado e virtualizado, tendo todos os elementos da manufatura digitalizados em cópias ciber-físicas. Isso permite que todas as ações, seja de monitoramento ou intervenção no processo de manufatura, possam ser realizadas diretamente nesse elemento virtual.

Dentre os pilares que integram a Indústria 4.0, temos a Simulação que busca aproximar o mundo físico do virtual, permitindo testar o produto e suas características antes de qualquer condição indesejada. www.altus.com.br (jan. 2019).

LAW e KELTON (1982) diz que a simulação é a imitação de um sistema modelado em computador para avaliação e melhoria da sua performance. BANKS (1998) diz que a simulação é utilizada para descrever e analisar o comportamento de um sistema. PRADO (2010) afirma que a simulação possibilita a imitação da operação de um sistema real, podendo ser visto o funcionamento dos modelos elaborados como filme, em uma tela.

No entanto, DUARTE (2003) diz que a simulação não é uma ferramenta mágica que venha substituir o trabalho de interpretação humano, mas sim uma ferramenta capaz de fornecer resultados para uma análise mais elaborada a respeito da dinâmica do sistema.

3.2 METODOLOGIA

Para este estudo, a metodologia adotada para propor uma solução que possa reduzir e/ou eliminar o retrabalho por falta de material em superfícies revestidas por soldagem, se baseia na Indústria 4.0 em um dos seus pilares: a Simulação. Pois esta permite a análise em tempo real, aproximando o mundo físico e virtual, e no aperfeiçoamento em configurações de máquinas para testar o produto e suas características antes de qualquer condição indesejada, gerando e otimizando os recursos e melhorando o desempenho do processo de manufatura. www.altus.com.br (jan. 2019). A Figura 8 a seguir mostra a interligação dos nove pilares da Indústria 4.0



FIGURA 8 - Os Pilares da Indústria 4.0

FONTE: Site Altus. Disponível em www.altus.com.br (2019).

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para que a quantidade de material a ser depositada no revestimento do Rotor seja o suficiente para garantir a usinagem total da superfície, foi estudada a viabilidade de se utilizar na inspeção da superfície revestida, um escaneamento digital tridimensional em 100% do revestimento. Com este escaneamento, é possível então gerar um sólido do rotor revestido que poderá ser comparado virtualmente, através de um esquema de cores, com o modelo sólido do rotor usinado, ou seja, um modelo teórico.

Desta forma, através da diferenciação de cores, será possível mapear regiões da superfície do rotor que ocasionalmente poderá estar com falta de material. Assim, antes mesmo de se retirar o Rotor do dispositivo de solda, será possível reforçar com solda apenas a região mapeada, o que eliminaria transtornos de falta de material durante a usinagem.

Diante da impossibilidade atual de se ter o dispositivo (*scanner*) para executar o escaneamento do Rotor, optou-se para este estudo, executar uma simulação do Rotor ainda na condição de revestido, ou seja, sem que o mesmo tivesse qualquer ação da usinagem sobre sua superfície. Para isso, utilizou-se um *software* CAD/CAM denominado *SolidWorks*, que partindo de um modelo tridimensional do item, pode-se inserir à superfície deste os cordões que simulam o revestimento de solda. A *Figura 9* a seguir mostra o Rotor (físico) revestido após este ser submetido ao processo de revestimento por soldagem, via arco submerso. E a *Figura 10*, indica um Rotor “revestido” num modelo tridimensional criado a partir do referido *software* CAD/CAM *SolidWorks*, que por ventura viria a ser o rotor escaneado, modelo de estudo e comparação da simulação.



FIGURA 9 - Rotor (Físico) Revestido por Soldagem, através do Processo Arco Submerso

FONTE: O autor (2019).



FIGURA 10 - Rotor Revestido (Virtualmente) Criado a partir de Modelo Tridimensional (*SolidWorks*)
FONTE: O autor (2019).

3.4 SIMULAÇÃO

De posse do modelo tridimensional do Rotor revestido, de maneira proposital, deixou-se em algumas regiões da superfície, uma camada de solda pouco menor quando comparada à camada de outras regiões da superfície do Rotor. Essa heterogeneidade da camada de solda na superfície do Rotor simula bem o que ocorre fisicamente durante o processo de solda.

A seguir, na *Figura 11*, temos o modelo virtual do Rotor “revestido” que será comparado, dentro de um ambiente do *SolidWorks*, com o modelo virtual do Rotor “usinado”, que está indicado na *Figura 12*. Através desta simulação ou podemos dizer comparação entre os modelos, haverá a possibilidade de identificar e mapear as regiões nas quais a soldagem não foi adequada, ou seja, será possível identificar as regiões onde não se tem material suficiente para a usinagem do Rotor, o comumente chamado sobremetal.



FIGURA 11 - Rotor (Modelo Tridimensional Virtual) Revestido por Soldagem Via SolidWorks
FONTE: O autor (2019).



FIGURA 12 - Rotor Usinado Final, ou Modelo Teórico (Modelo Tridimensional) Via SolidWorks
FONTE: O autor (2019).

4 RESULTADOS OBTIDOS

Através da simulação ou comparação entre os modelos tridimensionais do Rotor “revestido” *versus* Rotor “usinado”, foi possível identificar as regiões que não têm o sobremetal suficiente para garantir a usinagem da superfície do Rotor em estudo. A *Figura 13* a seguir, indica através de uma diferenciação de cores, a região na qual se tem que reforçar a quantidade de solda para evitar o retrabalho e filas de esperas geradas por este. Ou seja, nas regiões evidenciadas pela cor vermelha, será necessário depositar mais solda e, somente após esta simulação/validação é que o Rotor deverá ser liberado para o setor de usinagem.



FIGURA 13 - Simulação entre os Modelos do Rotor “Revestido versus Rotor “Usinado”

FONTE: O autor (2019).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Conforme evidenciado na simulação mostrada na *Figura 13*, é possível identificar e mapear as regiões que necessitam de mais material a ser depositado por processo de soldagem antes que o Rotor seja liberado para a usinagem.

Com isso, se atinge o objetivo de se liberar o Rotor para o setor de usinagem, somente após a simulação realizada entre o modelo 3D escaneado (revestido) *versus* o modelo 3D usinado (teórico). Sendo o escaneamento do rotor revestido e a simulação entre os modelos gerados, uma fase de inspeção no processo de recuperação dos rotores, que substituirá a inspeção convencional que é executada atualmente através de fita PI e calibres de verificação.

5.1 VANTAGENS

Com o escaneamento e a simulação é possível oferecer maior confiabilidade na liberação do Rotor para a área de usinagem, sem que haja interrupções da máquina de usinagem, retrabalhos, filas de espera e consequentes atrasos nos prazos de entrega dos equipamentos.

Com a simulação também será possível extrair um relatório dimensional virtual do revestimento, o qual deverá ser anexado ao *datobook* de recuperação do equipamento, relatório este que o cliente exige para evidenciar o quanto de solda foi colocado no rotor.

Envolvimento ou engajamento do pessoal do Controle da Qualidade, Manufatura e Engenharia de Processos no universo da Simulação e da Indústria 4.0. Este engajamento das pessoas pode ser o ponto chave para surgir mais soluções e conexões dentro do ambiente da corporação.

Outra vantagem significativa seria o da virtualização do processo de manufatura, oferecendo informações mais confiáveis e tomadas de decisões mais assertivas e rápidas sobre a liberação ou não de uma etapa do processo para a etapa seguinte, reduzindo ou eliminando o retrabalho e a perda de tempo.

5.2 DESVANTAGENS OU LIMITAÇÕES

Será necessário *budget* para aquisição de dispositivo para realizar o escaneamento do Rotor revestido, bem como treinar as pessoas para as atividades de escaneamento e simulação.

Outra limitação seria a dificuldade das pessoas com relação à mudança, ou seja, romper com aquilo é tradicional, direcionando o *mindset* para soluções inovadoras que buscam o sucesso do negócio, de forma mais integrada, inteligente e sustentável, mantendo as boas práticas já realizadas.

6 CONCLUSÕES

O processo de escaneamento e simulação utilizadas na inspeção de superfícies revestidas por soldagem pode colaborar para termos maior confiabilidade e assertividade na liberação destes itens para o processo de usinagem posterior, quando requerido. Reduzindo e até mesmo eliminando, no caso dos rotores das Válvulas Dosadoras, os retrabalhos inesperados e transtornos com paradas de máquina e filas de espera no chão de fábrica.

Para tal, se torna necessário a aquisição do dispositivo de escaneamento e logicamente o treinamento das pessoas envolvidas. Com relação à aquisição do dispositivo de escaneamento é necessário realizar alguns estudos daquilo que se encontra no mercado e comparar com os recursos já existentes. Visto que, a empresa em questão dispõe de um braço tridimensional da marca FARO, o qual também tem a função de escanear superfícies sólidas. Porém este recurso fica alocado em outra unidade da empresa, não sendo possível o empréstimo. Opção viável seria de treinar alguns inspetores nesta outra unidade e avaliar se o dispositivo atende ou não a necessidade requerida.

6.1 SUGESTÕES PRÓXIMOS PASSOS

Com relação ao dispositivo de escaneamento, uma opção bastante plausível, inclusive para ganhar experiência e ter maior certeza do que se pretende com relação ao processo de simulação, seria o de subcontratar alguma empresa que presta o serviço de *scanner*. Isso seria ótimo em curto prazo para validar o processo e, assim alavancar o estudo para a aquisição ou não de um dispositivo próprio.

Outra sugestão seria o de utilizar o escaneamento e simulação para outras aplicações, não somente em rotores de Válvulas Dosadoras, mas em outros tipos de equipamentos que requer reconstituição dimensional através de soldagem. Além de simulações do ambiente fabril e engenharia reversa.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. Handbook of simulation: principles, methodology, advances, application, and practice. New York: John Wiley & Sons, 1998

DUARTE, R. N. Simulação computacional: Análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2003

LAW, A. M.; KELTON, W. D. Simulation modeling and analysis. New York: Mc GrawHill, 1982

PRADO, D. S. Usando o ARENA em Simulação. 4. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda. 2010.

SCHWAB, KLAUS, 2016; tradução: MIRANDA, DANIEL MOREIRA – A Quarta Revolução Industrial, São Paulo Edipro, 2016.

STEVAN JUNIOR, SÉRGIO LUIZ; LEME M.O.; SANTOS M.M.D., 2018 – Indústria 4.0: Fundamentos, Perspectivas e Aplicações, São Paulo Érica, 2018.

www.altus.com.br – Os Pilares da Indústria 4.0 e sua Relevância para a Atividade Industrial, 07/01/2019.

APÊNDICE 1 – CRONOGRAMA PARA EXECUÇÃO DO RETRABALHO EM UM ROTOR

