

DAS
CTC
UFSC

Departamento de Automação e Sistemas
Centro Tecnológico
Universidade Federal de Santa Catarina

Robotização de células de soldagem para plataformas e cabines de tratores

*Relatório submetido à Universidade Federal de Santa Catarina
como requisito para a aprovação na disciplina
DAS 5511: Projeto de Fim de Curso*

Matheus Varmeling Capitano

Florianópolis, Agosto de 2015

Robotização de células de soldagem para plataformas e cabines de tratores

Matheus Varmeling Capitanio

*Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina
DAS5511: Projeto de Fim de Curso
e aprovada na sua forma final pelo
Curso de Engenharia de Controle e Automação*

Prof. Dr. João Carlos Espíndola Ferreira

Orientador no curso

Banca examinadora:

Eng. Fernando Sartori
Orientador na empresa

Prof. Dr. João Carlos Espíndola Ferreira
Orientador no curso

Professor Avaliador

Debatedor 1

Debatedor 2

Este relatório contém informações de propriedade da CNH Industrial, e não pode ser disponibilizado para uso público.

Todos os direitos do trabalho, incluindo cópias eletrônicas e impressas, pertencem a CNH Industrial, e devem ser mantidos confidenciais.

Curitiba, Agosto de 2015

Resumo

Este projeto consiste na implementação de células de solda robotizadas para soldagem de plataformas e cabines de diferentes modelos de tratores. Com a robotização e automação das células de solda, busca-se diminuir o lead time do processo de solda, permitindo uma maior flexibilidade dos processos que podem ser realizados na mesma célula. Todo o desenvolvimento do trabalho segue o padrão *World Class Manufacturing* (WCM) de manufatura, desde a concepção do projeto, construção, implementação até a manutenção dos equipamentos durante sua vida útil. O WCM é um sistema de gestão integrado de redução de custos derivado do *Toyota Production System* (TPS) e consiste em pilares de gestão, que integrados visam otimizar Logística, Qualidade, Manutenção e Produtividade para níveis de classe mundial. Este documento irá tratar das justificativas que motivaram a implementação de células robotizadas, a concepção do projeto, seu desenvolvimento de acordo com o WCM, vislumbrando as possibilidades de expansão do projeto para outras células de solda e até mesmo outras áreas da empresa.

Palavras-Chave: WCM. Célula de Solda. Robotização. Automação.

Abstract

This project consists in the implementation of welding robot cells for welding cabins and platforms of different tractors models and. With robotics and automation of welding cells, it seeks to reduce the lead time of welding processes, allowing more flexibility on the processes in the same welding cell. All project development follows the *World Class Manufacturing* (WCM) model, from conception through implementation and to maintenance of equipment over its lifetime. WCM is an integrated management system based on cost reduction derivative from the *Toyota Production System* (TPS) and consists in managerial pillars, that when integrated seek to optimize Logistics, Quality, Maintenance and Productivity to world class levels. This document regards the motivation reasons to robotics welding cells, the project conception, the project development according WCM, glimpsing the possibility of project expansion to others welding cells and even to others plant areas.

Key-Words: WCM. Welding cells. Robotics. Automation.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	A empresa	1
1.2	World Class Manufacturing	2
1.3	Motivação e Justificativa	2
1.4	Objetivos	4
1.5	Estrutura do Documento	5
2	Situação prévia	7
2.1	Descrição geral	7
2.1.1	Layout atual	7
2.1.2	Funcionamento das células	9
2.1.3	Processo de solda	10
2.2	Problemas atuais	11
2.3	Tempos e Custos	13
2.3.1	Plataforma APH	13
2.3.2	Plataformas APL	14
2.3.3	Cabines CCM	15
3	Early Equipment Management	18
3.1	Mapa de Conhecimento	21
3.2	Carga Frontal	23
3.3	OEE e OLE	25
3.3.1	Disponibilidade	26
3.3.2	Performance	26
3.3.3	Qualidade	27
3.4	<i>Vertical Startup</i>	27
3.5	Manutenção Preventiva	29
3.6	<i>Life Cycle Cost</i>	29
3.7	MTBF e MTTR	32
4	Célula Robotizada	34
4.1	As Células	35

4.2	Robô	36
4.3	Posicionadores	38
4.4	Sensoriamento e Automação	38
5	Implementação	40
5.1	<i>Savings</i>	40
5.1.1	APL e APH	41
5.1.2	CCM	43
5.1.3	Custo x Benefício	44
5.2	Layout	46
5.3	LCC	49
5.3.1	Vida útil	49
5.3.2	Determinação do LCC	49
5.4	Gabaritos de solda	54
5.5	Demonstração do Robô	54
5.6	Automação da célula	55
6	Resultados Obtidos	57
7	Conclusões e Perspectivas	60

Lista de Figuras

1.1	Layout atual da planta localizada em Curitiba	2
1.2	Layout detalhado da fábrica de colheitadeiras	3
1.3	Plataformas soldadas em duas células a serem robotizadas	4
1.4	Cabine soldada na terceira célula a ser robotizada	4
2.1	Situação atual das células de solda dos modelos APL e APH	8
2.2	Situação atual das células de solda do modelo CCM	9
2.3	Exemplos de gabaritos utilizados para solda dos subconjuntos	10
2.4	Tratores que utilizam as plataformas e cabines soldadas nas células.	10
2.5	Esquema de solda MIG/MAG.	11
2.6	Esboço do fluxo das plataformas e cabines	12
2.7	Subgrupos da plataforma APH.	14
2.8	Subgrupos da cabine CCM.	16
3.1	10 Pilares do WCM	19
3.2	7 passos de EEM. [5]	21
3.3	Vozes do pilar EEM.	22
3.4	Exemplo de <i>Radar Chart</i> do pilar EEM.	23
3.5	Período ideal para modificações. [16]	24
3.6	Custo e lead time de um projeto aplicando conceito de carga frontal.[16]	25
3.7	Componentes do indicador OEE. [1]	26
3.8	Startup sem EEM e com EEM. [16]	28
3.9	Determinação do LCC nas fases iniciais do projeto. [16]	31
3.10	Passos para cálculo do LCC. [14] [16]	32
3.11	Exemplo de uma análise de LCC.	32
3.12	Demonstração de MTBF e MTTR.	33
4.1	Modelos de célula a serem utilizadas para robotização. APL e APH (esquerda) e CCM (direita).	36
4.2	Exemplo de modelo do robô a ser utilizado e seu raio de ação.	37
5.1	Desenhos técnicos com informações dos cordões de solda	41
5.2	Alteração do layout das células APL e APH.	47
5.3	Alteração do layout da célula CCM.	48

5.4	Layout no interior da célula CCM.	48
5.5	<i>Initial costs</i> para cada fornecedor.	50
5.6	Custos com MTBF e MTTR por fornecedor.	52
5.7	<i>Running costs</i> para cada fornecedor.	52
5.8	Valores de LCC para cada fornecedor.	53
5.9	Sensores indutivos para detecção de grampos.	55
5.10	Modelo de cabeça de leitura de dados e TAG RFID.	56
6.1	Evolução do LCC para cada fornecedor.	58
6.2	Junta soldada com robô (esquerda) e robô utilizado para teste (direita).	59

Lista de Tabelas

2.1	Tempos de solda para os subgrupos da plataforma APH.	14
2.2	Tempos de solda para os subgrupos da plataforma APL TL.	15
2.3	Tempos de solda para os subgrupos da plataforma APL Farmall.	15
2.4	Custo total de produção das plataformas APH e APL.	15
2.5	Tempos de solda para os subgrupos da cabine CCM.	16
2.6	Custo total de produção das cabines CCM.	17
5.1	Tempos de solda com robô para os subgrupos APH.	42
5.2	Tempos de solda com robô para os subgrupos APL/TL.	42
5.3	Tempos de solda com robô para os subgrupos APL/Farmall.	43
5.4	<i>Saving</i> para produção das plataformas APH e APL.	43
5.5	Tempos de solda com robô para os subgrupos CCM	44
5.6	<i>Saving</i> para produção da cabine CCM.	44
5.7	Relação Custo x Benefício da célula dos modelos APL e APH.	45
5.8	Relação Custo x Benefício da célula do modelo CCM.	46

Capítulo 1

Introdução

1.1 A empresa

O ambiente de desenvolvimento deste projeto é uma empresa industrial italiana, a CNH Industrial, que através de seus vários desenhos de negócio, produz equipamentos agrícolas e de construção, caminhões, veículos comerciais, ônibus e veículos especiais. Além de motores para o setor industrial e marinho.

A empresa foi incorporada em 2012 e é resultado de uma integração das companhias Fiat Industrial e CNH Global, administrando as marcas CNH, IVECO e FPT Industrial, do grupo FIAT. Um dos líderes mundiais de equipamentos do setor agrícola e de construção civil, a CNH foi criada em 1999 através da fusão das marcas Case Corporation e New Holland.

A empresa possui um total de 62 plantas produtivas em todo o mundo. Em Curitiba, local de desenvolvimento deste projeto, está uma das plantas, onde são produzidos transmissões, tratores, colheitadeiras e componentes das marcas agrícola pertencentes a empresa. A planta, assim como todas as outras da CNH Industrial, trabalha na filosofia WCM. Na figura 1.1 pode ser visto o layout detalhado da unidade de Curitiba.

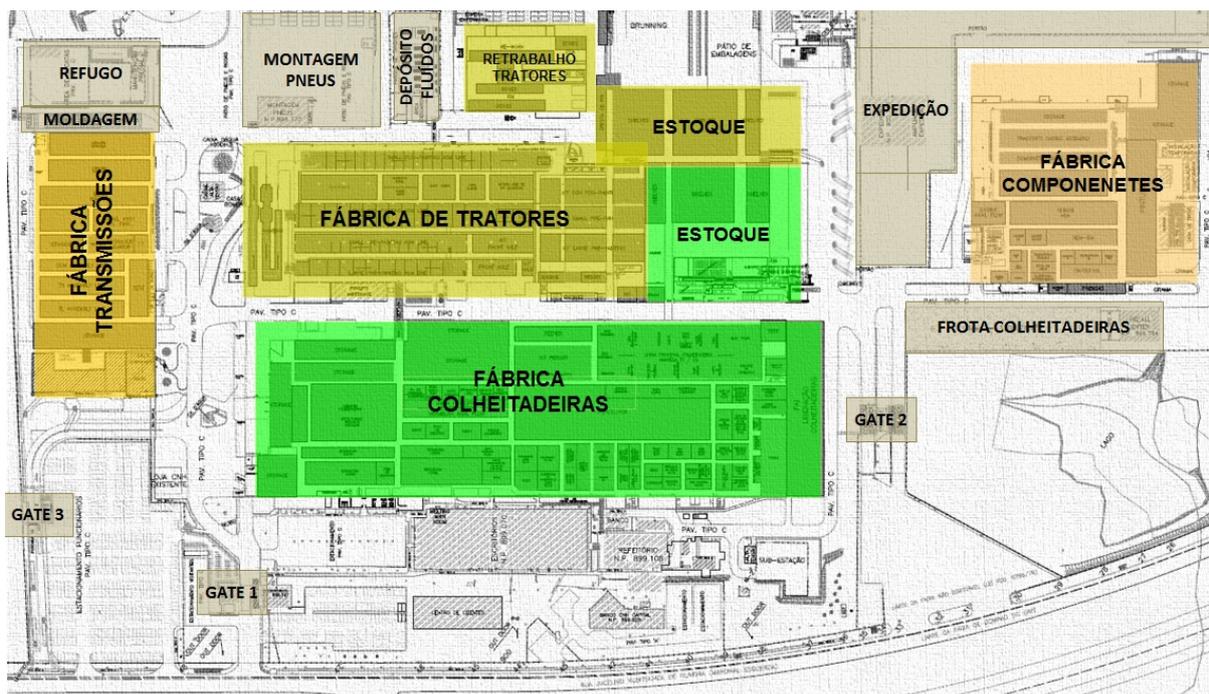


Figura 1.1: Layout atual da planta localizada em Curitiba

1.2 World Class Manufacturing

O WCM é um sistema de gestão integrado de redução de custos baseado em *Lean Manufacturing*, e visa otimizar a Logística, Qualidade, Manutenção e Produtividade para níveis de classe mundial, através de um conjunto estruturado de métodos e ferramentas. Baseia-se em 3 elementos essenciais: no combate sistemático a cada desperdício e perda existente em toda a cadeia de suprimentos; no envolvimento das pessoas e respectivo desenvolvimento de suas competências e por fim na utilização rigorosa de métodos e ferramentas apropriados para as ineficiências dos processos.

De acordo com [13], recentemente muitas organizações estão implementando princípios e conceitos de manufatura enxuta, com o objetivo de alcançar vantagens competitivas sobre outras organizações, porém falham por questões de redundância e uma falta de educação dos operadores quanto a conceitos e princípios de produção enxuta.

1.3 Motivação e Justificativa

Como mostrado na figura 1.1 a unidade de Curitiba está dividida em 4 fábricas separadas (transmissões, tratores, colheitadeiras e componentes), fornecendo equipamentos e produtos entre elas e também para outras plantas da América Latina.

A fábrica de colheitadeiras, onde será desenvolvido este projeto, está dividida por tecnologias de produção: estamparia, usinagem, solda, pintura e montagem. Na figura 1.2 pode ser visto o detalhamento do layout da fábrica de colheitadeiras.

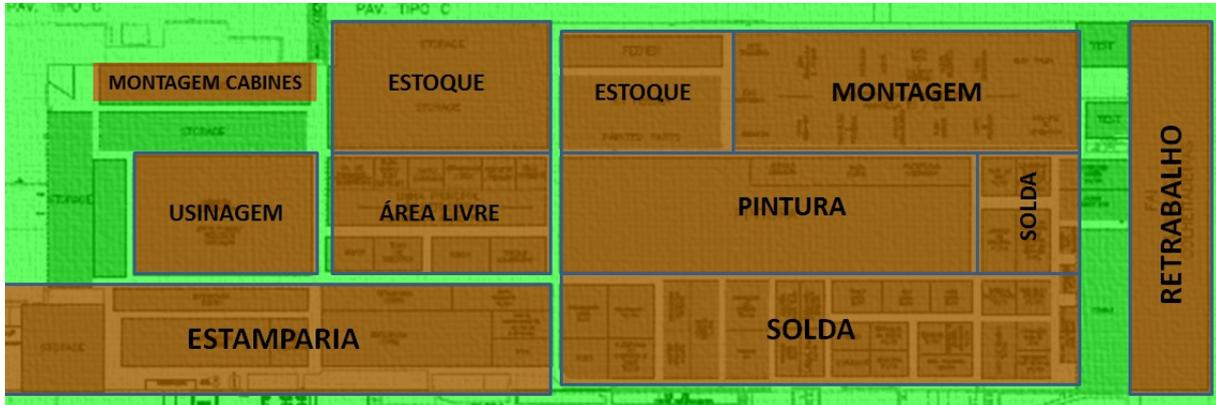


Figura 1.2: Layout detalhado da fábrica de colheitadeiras

A área de solda é responsável pela produção de peças para colheitadeiras e tratores. A área é subdividida em células de solda, cada célula produzindo um grupo de peças de acordo com similaridades do processo e equipamentos necessários.

As células são compostas de vários dispositivos (gabaritos) para solda de peças e subgrupos de peças. As peças para solda nas células são fornecidas pela logística, e ao final do processo, são disponibilizadas para a pintura. Após a pintura, as peças são enviadas para as respectivas linhas de montagem.

As células de solda possuem somente operações manuais. Todo o processo de transporte, movimentação e posicionamento das peças nos dispositivos são realizados por operadores, sem nenhum nível de automação presente. Devido a variação na qualidade da solda manual, as peças precisam de acabamentos ao final do processo para que possam ser enviadas para a pintura. Desta forma, o tempo gasto nas células com NVAA (*Non Value Added Activities*) é alto, comprometendo a eficiência das células e aumentando os custos dos processos.

Seguindo a filosofia WCM de zero perdas, a empresa realizou estudos iniciais para reduzir os custos de produção, e três células em particular chamaram a atenção nas matrizes de perdas WCM. As células são responsáveis pela solda de plataformas e cabines de diferentes modelos de tratores. Através dos cálculos dos tempos e custos de produção dessas células, notou-se que as plataformas e cabines estavam sendo produzidas a um custo muito superior do que em outras plantas da empresa. Além dos altos custos, as células trabalham com elevado volume de produção. Aliando alto custo com volume elevado, as células causam perdas excessivas e trabalham com alta ineficiência, algo combatido severamente pela filosofia WCM

de manufatura. Abaixo são mostrados os modelos de plataformas (figura 1.3) e cabines (figura 1.4) soldadas nas células mencionadas.

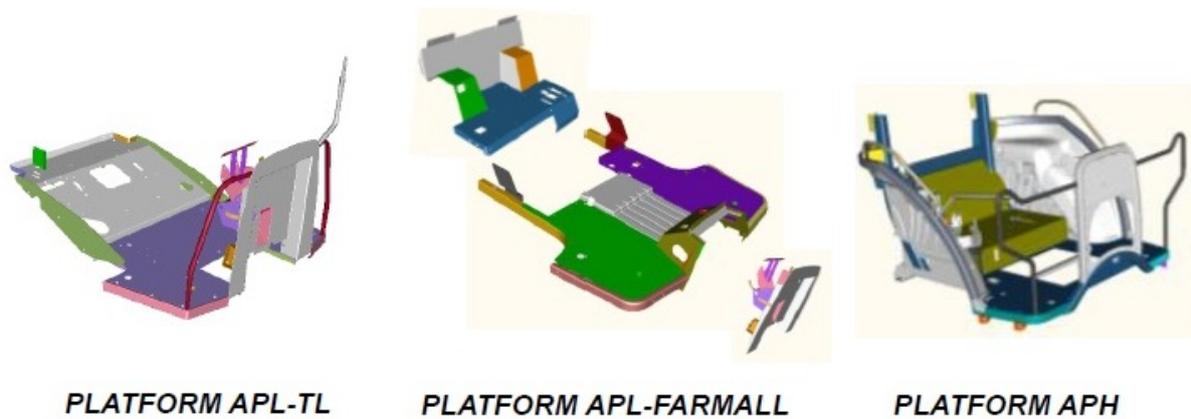


Figura 1.3: Plataformas soldadas em duas células a serem robotizadas



Figura 1.4: Cabine soldada na terceira célula a ser robotizada

Para reduzir os custos, sugeriu-se um projeto de automação das células de solda, buscando reduzir os tempos do processo, principalmente os tempos de NVAA, aumentando a eficiência e produtividade dessas células. Com a automação busca-se também melhorar a qualidade final da solda através de uma maior padronização dos processos.

1.4 Objetivos

De acordo com [2], a automação programável tem o potencial de melhorar o ambiente de trabalho em manufatura. Isto é possível somente se reduzir a necessidade de trabalhado-

res realizando atividades perigosas ou desagradáveis e de forma que providencie variedade e oportunidades para tomada de decisão. Conforme o trabalho se torna cada vez mais automatizado é importante considerar o papel que as pessoas desenvolverão relativos aos equipamentos.

Para iniciar o processo de automação, realizou-se um estudo mais detalhado das células de solda em questão e possíveis alternativas de automação. Para solucionar o problema dos altos tempos de setup e NVAA das operações de solda das cabines, sugeriu-se a robotização das células. O projeto dessas células é constituído basicamente de um robô manipulador integrado com posicionadores para os dispositivos de solda. Com a robotização busca-se aumentar a eficiência produtiva da célula, reduzindo o lead time através da redução dos altos valores de NVAA e dos tempos de setup das peças. Ao mesmo tempo, busca-se melhorar consideravelmente a qualidade da solda, mesmo com velocidades de solda superiores.

Para reduzir o NVAA das operações, cada célula robotizada tem como proposta suportar até quatro dispositivos de solda simultaneamente. Aliado ao robô, um operador fica responsável pelo setup e abastecimento das peças para os dispositivos. Dessa forma o robô não ficará ocioso, sempre tendo peça disponível para solda. Os dispositivos de solda possuirão sensores que auxiliarão o robô no reconhecimento de peças a serem soldadas, carregando os programas de solda automaticamente. Por se tratar de um sistema robotizado, busca-se uma maior qualidade final da solda através de uma melhor padronização dos tempos de processo, auxiliando também no planejamento da produção e na identificação de possíveis melhorias das células de solda. Com uma maior padronização dos tempos de processo, busca-se também a implementação de um sistema *Just-in-Time* para a célula robotizada, reduzindo gastos com estoque e manutenção das peças. O projeto da célula robotizada prevê também um sistema de reconhecimento de juntas de solda embutido no robô, para que o mesmo possa absorver pequenas variações dimensionais das peças soldadas, mantendo sempre a alta qualidade da solda, com velocidades superiores à solda manual.

Além de solucionar o problema do lead time, a robotização das células de solda tem como objetivo proporcionar uma alta flexibilidade para os processos, podendo se adequar a novos produtos que possam ser introduzidos nas células. Com maior flexibilidade também torna-se mais fácil adequar os processos para períodos com diferentes taxas de demanda, uma vez que o mercado de equipamentos agrícolas opera sob sazonalidades devido aos períodos de safra e plantio.

1.5 Estrutura do Documento

O capítulo 2 apresentará a situação prévia da soldagem de plataformas e cabines de tratores na empresa. O capítulo 3 discutirá a teoria utilizada como base para implementação e ferramentas utilizadas do WCM e pilar EEM. No capítulo 4 será apresentado o conceito utilizado para as células robotizadas e seus principais componentes. No capítulo 5 será apresentada a implementação das ferramentas de WCM e das células robotizadas. No capítulo 6

serão discutidos os resultados obtidos com a implementação do projeto e por fim, no capítulo 7 será exposta uma breve conclusão do autor a respeito do projeto.

Capítulo 2

Situação prévia

2.1 Descrição geral

Este projeto é desenvolvido na área de solda da fábrica de colheitadeiras (figura 1.1) da unidade de Curitiba. No momento, a área de solda possui 42 células, responsáveis pela produção de peças para colheitadeiras, tratores e componentes. As peças são agrupadas nas células de acordo com a similaridade das peças, dos processos envolvidos e dos equipamentos de solda necessários.

Como dito no capítulo 1, três células da área de solda chamaram a atenção devido aos altos custos e tempos de produção, portanto foram as células escolhidas para desenvolvimento deste projeto de automação. As primeiras duas células a serem robotizadas são responsáveis pela produção das plataformas de três modelos de tratores, o TL, o Farmall e o T6. A segunda célula a ser robotizada ficará responsável pela solda das cabines de dois modelos de tratores, o Puma e o T7000.

2.1.1 Layout atual

Atualmente, os modelos de plataforma para os tratores TL (APL), Farmall (APL) e T6 (APH) são soldados em duas células diferentes. A figura 2.1 mostra os locais das células.

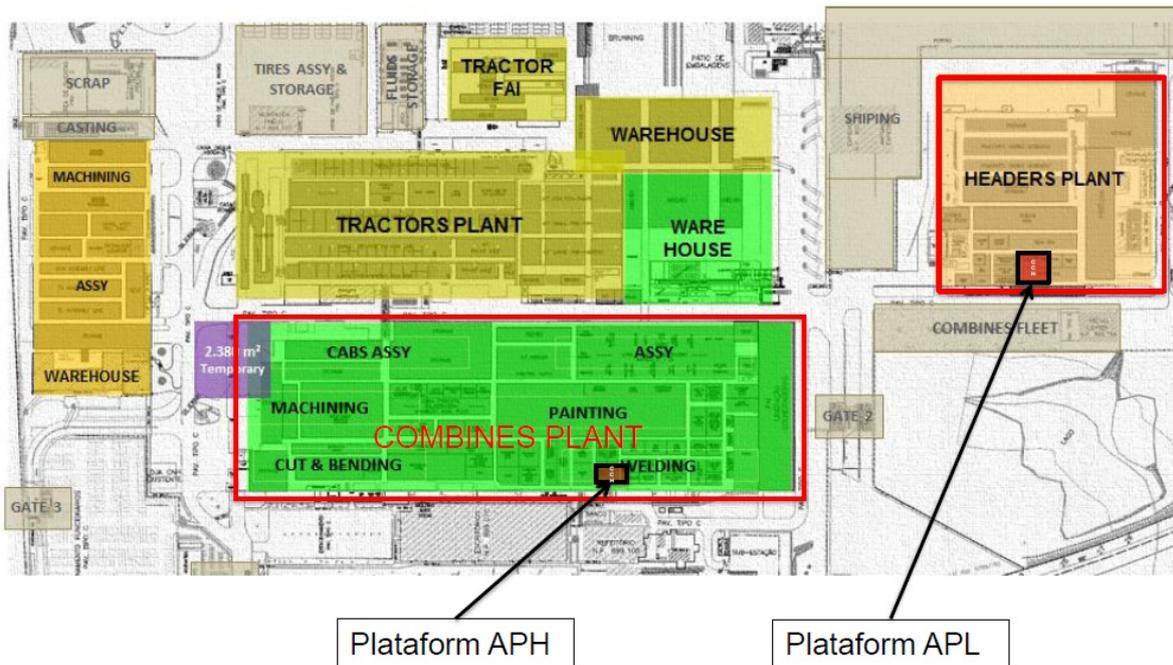


Figura 2.1: Situação atual das células de solda dos modelos APL e APH

Escolheu-se desenvolver uma única célula robotizada para essas plataformas devido à similaridade dos 3 modelos de tratores. As operações das duas células de solda responsáveis pelos 3 modelos de plataformas da imagem 1.3 serão realizadas por uma única célula robotizada, a ser alocada na área de solda.

A segunda célula de solda prevista no projeto de robotização, encontra-se atualmente na fábrica de colheitadeiras, separado da área de solda, devido ao grande espaço ocupado pela mesma. A figura 2.2 mostra o local da célula.

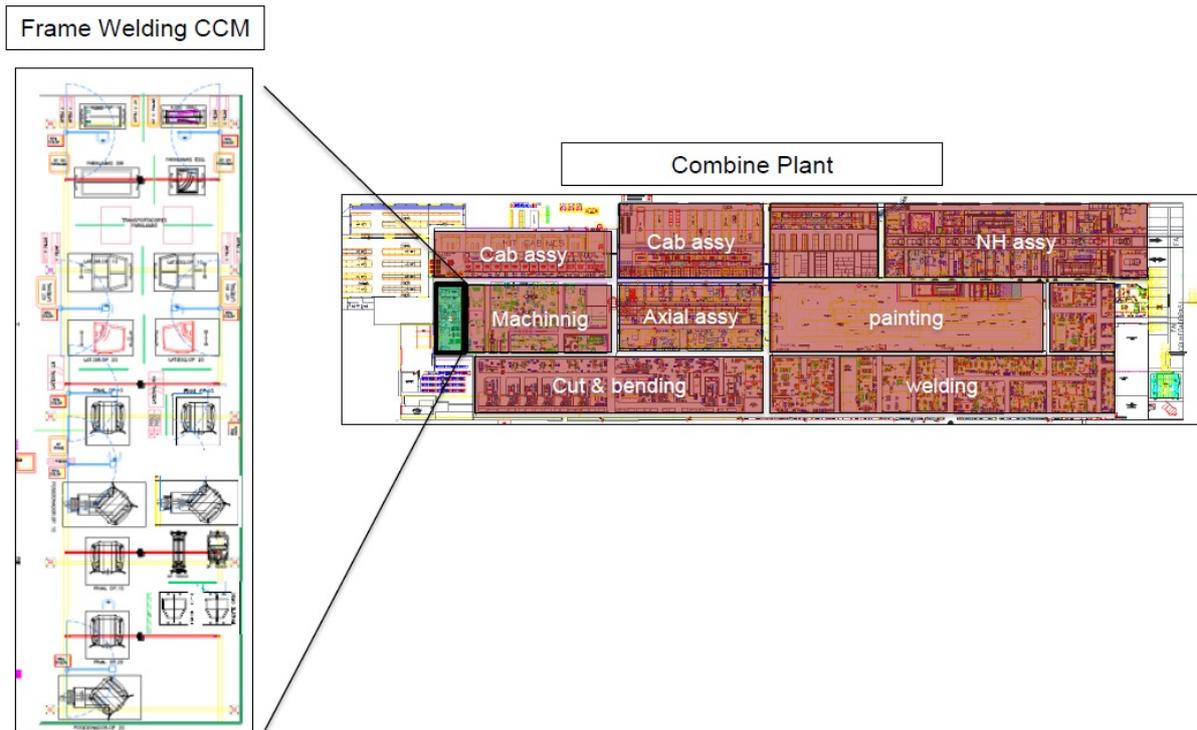


Figura 2.2: Situação atual das células de solda do modelo CCM

Devido ao alto volume de produção das cabines do modelo CCM, será projetado uma célula de solda exclusiva para estas cabines, porém com flexibilidade para introdução de novas peças caso seja necessário. A célula robotizada das cabines também será alocada na área de solda da fábrica de colheitadeiras e não mais no local mostrado na figura 2.2.

2.1.2 Funcionamento das células

As células recebem da logística as peças individualmente ou em kits. Os subgrupos das plataformas ou cabines são soldados na respectiva célula com o auxílio de gabaritos de solda. Os gabaritos são dispositivos que auxiliam na fixação das peças na posição correta para serem soldadas, garantindo a geometria final do subconjunto. Para fixar as peças no gabarito, os dispositivos contam com auxílio de grampos que realizam o posicionamento e fixação através de pontos de referência. Os grampos podem ser manuais ou possuírem acionamento pneumático. A figura 2.3 mostra três dos gabaritos de solda utilizados atualmente. Quando todos os subconjuntos estão finalizados, é realizado o fechamento dos mesmos no formato final da plataforma ou cabine. O fechamento é realizado em um gabarito específico, onde todos os subconjuntos são posicionados na forma final da plataforma ou cabine, realizando o fechamento de todos os cordões de solda. Para auxiliar o fechamento, existe um dispositivo giratório, para que as operações de solda sejam sempre realizadas na posição horizontal.

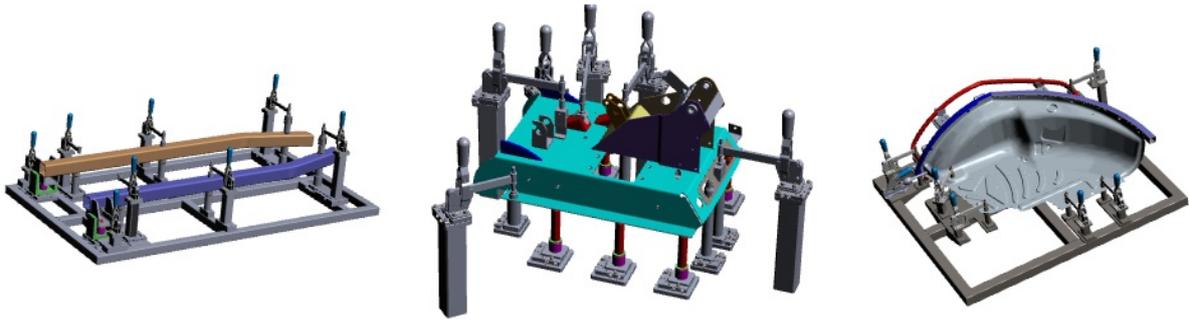


Figura 2.3: Exemplos de gabaritos utilizados para solda dos subconjuntos

Ao terminar, a plataforma ou cabine é encaminhada para o setor de pintura, onde será pintada de acordo com as cores da marca do modelo do trator, Case ou New Holland. Após a pintura, o frame é enviado para a linha de montagem, onde recebe todos os componentes internos. Após montada, a plataforma ou cabine, já na sua forma final, é disponibilizada para a fábrica de tratores, para ser montada na respectiva linha de montagem. Os modelos de tratores que recebem as plataformas APL são o TL e o Farmall. O trator T6 recebe a plataforma APH. Já as cabines CCM compõe os modelos dos tratores T7000 e Puma. A figura 2.4 mostra os modelos de tratores com as plataformas e cabines. Da esquerda pra direita: TL, Farmall, T6, T7000.



Figura 2.4: Tratores que utilizam as plataformas e cabines soldadas nas células.

2.1.3 Processo de solda

O processo de solda utilizado atualmente na maioria das células de solda, incluindo as células a serem robotizadas é a solda MIG. De acordo com [11], na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (GMAW – Gas Metal Arc Welding), também conhecida como soldagem MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas), um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido

da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte (MIG) ou ativo (MAG). É denominado MIG o processo de soldagem utilizando gás de proteção quando esta proteção utilizada for constituída de um gás inerte, ou seja, um gás normalmente monoatômico como Argônio ou Hélio, e que não tem nenhuma atividade física com a poça de fusão. A figura 2.5 mostra o esquema de solda MIG/MAG.

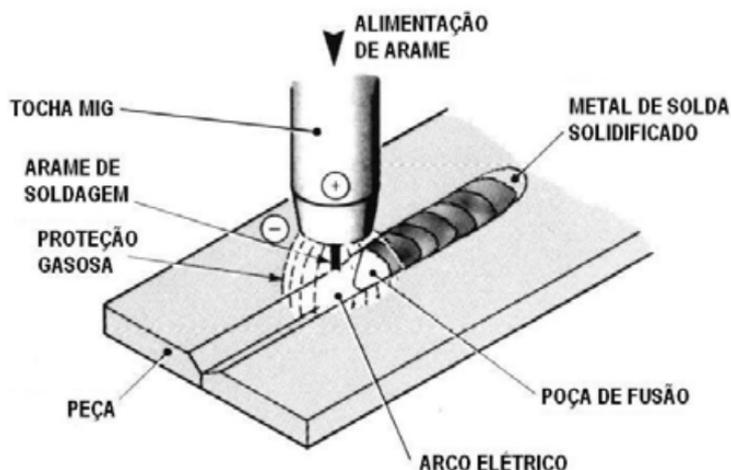


Figura 2.5: Esquema de solda MIG/MAG.

Neste processo de soldagem é utilizada a corrente contínua (CC) e geralmente o arame é utilizado no pólo positivo (polaridade reversa). A faixa de corrente mais comumente empregada varia de 50A até cerca de 600A, com tensões de soldagem de 15V até 32V. Um arco elétrico auto corrigido e estável é obtido com o uso de uma fonte de tensão constante e com um alimentador de arame de velocidade constante. Nas células que utilizam a solda MIG o gás de proteção utilizado é uma mistura de gás carbônico (CO_2) com Argônio (Ar) e os parâmetros como tensão e corrente e velocidade de alimentação do arame variam de acordo com a necessidade de cada processo.

2.2 Problemas atuais

As células responsáveis pela solda das plataformas e cabines, assim como muitas outras células de solda da fábrica, apresentam alguns problemas quanto a processo, layout e custo de fabricação das peças devido a alto lead time e NVAA. A seguir, apresentam-se alguns dos problemas que motivaram este projeto de robotização.

Para a pintura das cabines há um problema quanto ao fluxo de material entre as células de solda e o setor de pintura. A cabine de pintura da fábrica de colheitadeiras não possui tamanho suficiente para suportar as cabines e plataformas, e estas precisam ser enviadas para o setor de pintura da área de componentes. Após pintadas, as plataformas e cabines

precisam ser trazidas de novo para a linha de montagem na fábrica de colheitadeiras. Esta movimentação de material entre as fábricas, gera um contra-fluxo, acarretando altos valores de NVAA, aumentando o custo de produção das cabines. Na figura 2.6 apresenta-se um esboço deste fluxo de material. Um projeto de modificação do setor de pintura está em processo para eliminar este contra-fluxo.

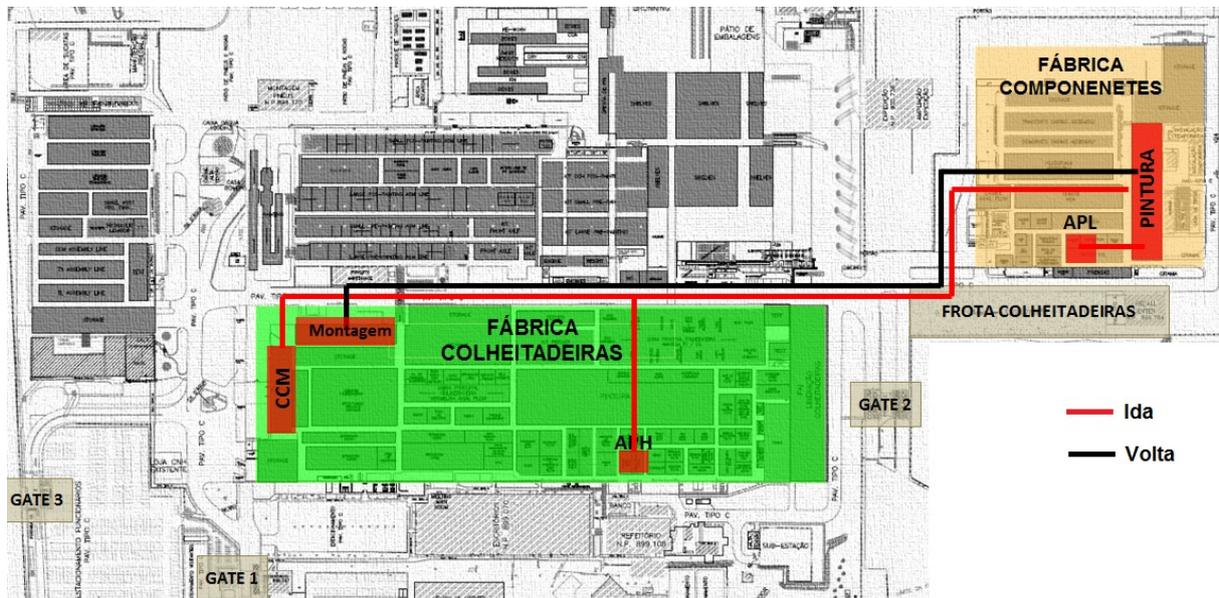


Figura 2.6: Esboço do fluxo das plataformas e cabines

Outro problema a ser atacado pela robotização das células é o NVAA gerado na própria célula. Devido às operações manuais, a movimentação, posicionamento e setup das peças são responsáveis por grande parte do tempo do processo. Assim, o tempo gasto com adição de valor ao produto é relativamente baixo, elevando os custos de produção das plataformas e cabines.

A qualidade da solda também pode ser citada como um dos problemas atuais. Como a solda é realizada toda por operadores, e nem sempre pelo mesmo operador, não garante-se uma padronização da solda, variando-se também quase sempre os parâmetros do processo, como ângulo, velocidade, profundidade e distância de solda. Além disso, ao final do processo, as plataformas e cabines necessitam de um acabamento antes de serem enviadas para a pintura devido a excesso de material e pequenos defeitos na solda, gerando novamente, valores de NVAA que poderiam ser evitados.

A maioria das peças que formam os conjuntos soldados das plataformas e cabines são de fornecedores externos, e quase sempre vêm com pequenas variações dimensionais. Os operadores muitas vezes não percebem essas variações e acabam soldando as peças com erros de posição, que mais tarde geram problemas nas linhas de montagem e podem ocasionar em retrabalho, aumentando o lead time da montagem.

O projeto de robotização busca eliminar ou ao menos reduzir esses e outros problemas decorrentes das operações manuais, sempre priorizando a redução de tempos de NVAA e do lead time total do processo, com o objetivo de reduzir os custos de produção das plataformas e cabines de tratores.

2.3 Tempos e Custos

Aqui será apresentado o levantamento dos tempos e custos de processo para a solda das plataformas e cabines em suas respectivas células de solda. Foram considerados para os cálculos somente o tempo gasto com trabalho na célula de solda, logo, tempos de transporte, armazenamento e outros tempos gastos com a peça fora da célula não são aqui considerados. O tempo gasto com movimentação e setup das peças entre dispositivos já está incluso no levantamento dos tempos de solda. Para cálculo dos custos só foi levado em consideração os custos das horas durante o processo de solda, visto que é esse custo que o projeto de robotização da célula visa diminuir.

Para cálculo dos custos de produção de cada modelo, utilizou-se o custo padrão da hora de produção da fábrica e os volumes de produção estimados para o período entre Novembro de 2015 e Outubro de 2016. Este custo hora utilizado é um valor médio padrão e corresponde a valores de custos fixos e variáveis da empresa, sendo uma boa estimativa para levantar os custos de produção das plataformas e cabines. Para levantamento dos tempos de solda de cada modelo de plataforma e cabine foram somados os tempos estimados para solda de cada subconjunto que compõe a plataforma ou cabine, assim como os tempos de setup para cada peça. Foram levantados os tempos de solda, e então aplicado uma saturação de 85% dos operadores, valor padrão da empresa. O conceito de saturação é apresentado mais adiante em (3.3). Os modelos de plataforma APL e APH são soldados em células diferentes, logo, foi realizado um levantamento para cada modelo em separado.

2.3.1 Plataforma APH

A começar pelo modelo APH, que é composto pelos seguintes subgrupos: laterais direita e esquerda, paralamas direito e esquerdo, longarinas direita e esquerda, firewall e assoalho. Após a solda de todos os subconjuntos ainda há a operação de fechamento da plataforma e solda em dispositivo giratório. O fechamento consiste em juntar todos os subgrupos em dispositivo para realizar a solda dos mesmos na forma final da plataforma. O dispositivo giratório é complementar ao fechamento e auxilia na ergonomia para as operações manuais de solda. A figura 2.7 mostra alguns dos subgrupos da plataforma APH e os tempos levantados são apresentados na tabela 2.1.

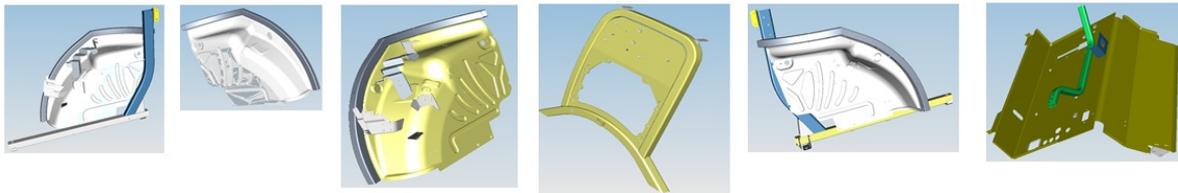


Figura 2.7: Subgrupos da plataforma APH.

Tabela 2.1: Tempos de solda para os subgrupos da plataforma APH.

Plataforma APH		
Descrição Peça	OLE 100%	OLE 85%
Lateral Direita	00:55:00	01:03:15
Lateral Esquerda	00:55:00	01:03:15
Paralama Direito	00:40:00	00:46:00
Paralama Esquerdo	00:40:00	00:46:00
Longarina Direita	00:30:00	00:34:30
Longarina Esquerda	00:30:00	00:34:30
Firewall	00:45:00	00:51:45
Assoalho	00:40:00	00:46:00
Op. Fechamento	01:30:00	01:35:00
Op. Giratório	01:00:00	01:00:00
Tempo Total	08:05:00	09:00:15

2.3.2 Plataformas APL

As plataformas APL são relativamente mais simples do que o modelo APH e são compostas por piso frontal, firewall e piso traseiro. Como mostrado na figura 1.3 as plataforma APL se dividem em dois modelos, o TL da marca New Holland e o Farmall da marca Case. Abaixo nas tabelas 2.2 e 2.3 são apresentados os tempos de solda de ambos os modelos, que por serem fisicamente semelhantes apresentam também tempos semelhantes.

Tabela 2.2: Tempos de solda para os subgrupos da plataforma APL TL.

Plataforma APL/TL	
Descrição Peça	OLE 85%
Piso Frontal	00:27:00
Firewall + Piso Traseiro	00:23:00
Op. Fechamento	01:33:00
Tempo Total	02:23:00

Tabela 2.3: Tempos de solda para os subgrupos da plataforma APL Farmall.

Plataforma APL/Farmall	
Descrição Peça	OLE 85%
Piso Frontal	01:20:00
Firewall + Piso Traseiro	00:57:00
Tempo Total	02:17:00

Como dito anteriormente, para este projeto leva-se em conta somente os tempos de processo no interior da célula, juntamente com os tempos de movimentação e setup das peças assim como tempos de NVAA. Para o cálculo do custo total do processo considera-se somente o custo com horas gastas com o mesmo, a um valor padrão médio pré-fixado pela empresa e o volume de produção no período de um ano. Para efeitos de comparação, utilizou-se o período de um ano a partir da data estimada para startup das células robotizadas. Na tabela 2.4 apresenta-se os custos totais de produção das plataformas modelo APH e APL. Os valores do custo hora assim como o custo total para cada modelo de plataforma foram omitidos por questões confidenciais da empresa.

Tabela 2.4: Custo total de produção das plataformas APH e APL.

Modelo	Tempo atual (horas)	Volume (Nov/15 - Out/16)	Custo Hora	Custo total
Plataforma APH	9	193	Valor Médio	R\$ +
Plataforma APL/TL	2,4	2498	Valor Médio	R\$ +++
Plataforma APL/Farmall	2,3	1072	Valor Médio	R\$ ++
			Total	R\$2.206.905,90

2.3.3 Cabines CCM

As cabines do modelo CCM são relativamente mais complexas que o APL e APH e acabam resultando em mais tempo de processo. Para a solda das cabines também é ne-

cessário dois dispositivos de fechamento e dois dispositivos giratórios, assim como um tempo para acabamento da cabine antes que seja enviada para a pintura. Os subgrupos que compõem as cabines do CCM são: assoalho, laterais direita e esquerda, paralamas direito e esquerdo, longarinas direita e esquerda, firewall e "S" direito e esquerdo. Os tempos para solda de cada subgrupo, fechamentos e acabamento são apresentados na tabela 2.5 e a figura 2.8 mostra alguns dos subgrupos da cabine CCM.

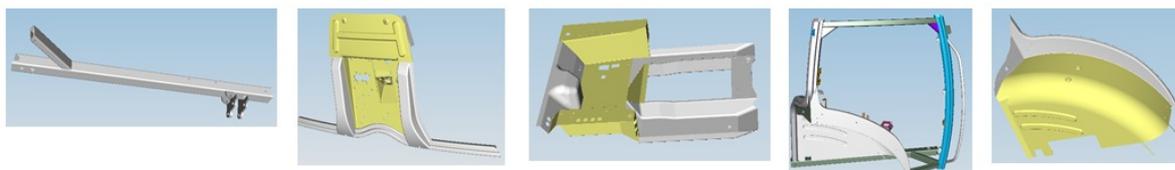


Figura 2.8: Subgrupos da cabine CCM.

Tabela 2.5: Tempos de solda para os subgrupos da cabine CCM.

Cabine CCM		
Descrição Peça	OLE 100%	OLE 85%
Assoalho	00:30:00	00:34:30
Lateral Direita	01:50:00	02:06:30
Lateral Esquerda	01:48:00	02:04:12
Paralama Direito	01:00:00	01:09:00
Paralama Esquerdo	01:00:00	01:09:00
Longarina Direita	00:25:00	00:28:45
Longarina Esquerda	00:25:00	00:28:45
Firewall	01:00:00	01:09:00
"S"Direito	00:20:00	00:23:00
"S"Esquerdo	00:20:00	00:23:00
Op. Fechamento 1	01:18:00	01:29:42
Op. Giratório 1	00:54:00	01:02:06
Op. Fechamento 2	00:39:00	00:44:51
Op. Giratório 2	00:54:00	01:02:06
Acabamento	00:40:00	00:46:00
Tempo Total	13:03:00	15:00:27

Para cálculo dos custos das horas gastas com a cabine CCM utilizou-se o mesmo método que as plataformas APL e APH. O período considerado para o volume de produção tam-

bém é o mesmo. A tabela 2.6 apresenta os custos. Novamente, alguns valores foram omitidos, por questão de confidencialidade da empresa.

Tabela 2.6: Custo total de produção das cabines CCM.

Modelo	Tempo atual (horas)	Volume (Nov/15 - Out/16)	Custo Hora	Custo total
Cabine CCM	15	Valor Estimado	Valor Médio	R\$ 6.547.484,55

Esses tempos de processo para as plataformas APL e APH e cabines CCM foram considerados elevados quando comparados com as outras plantas da CNH Industrial que produzem os mesmo modelos de tratores. Para baixar o *lead time* desses produtos e conseqüentemente os custos de produção sugeriu-se a implementação de duas células de solda robotizadas, uma responsável pela solda das plataformas APL e APH e a outra pela solda das cabines CCM. No capítulo a seguir será discutido sobre as ferramentas do WCM, mais precisamente do pilar EEM, responsável pela gestão de projetos que envolvem a aquisição de novos equipamentos.

Capítulo 3

Early Equipment Management

Baseado nos mais competitivos aspectos do *Sistema Toyota de Produção* e na filosofia de *Lean Manufacturing*, o WCM aplicado na CNH Industrial tem foco nos principais conceitos de *Total Industrial Engineering (TIE)*, *Total Quality Control (TQC)*, *Total Productive Maintenance (TPM)* e *Just in Time (JIT)*. O WCM é estruturado em 10 pilares e consiste em uma série de métodos e ferramentas que são aplicados em uma abordagem muito disciplinada e metódica para eliminar os desperdícios e perdas em toda a cadeia produtiva e promover melhorias através de todos os sistemas de produção. Os 10 pilares existentes no sistema WCM podem ser vistos na figura 3.1 e são eles:

- Safety
- Cost Deployment
- Focused Improvement
- Autonomous Activities
- Professional Maintenance
- Quality Control
- Logistics
- Early Equipment/Product Management
- People Development
- Environment

World Class Manufacturing Pillars

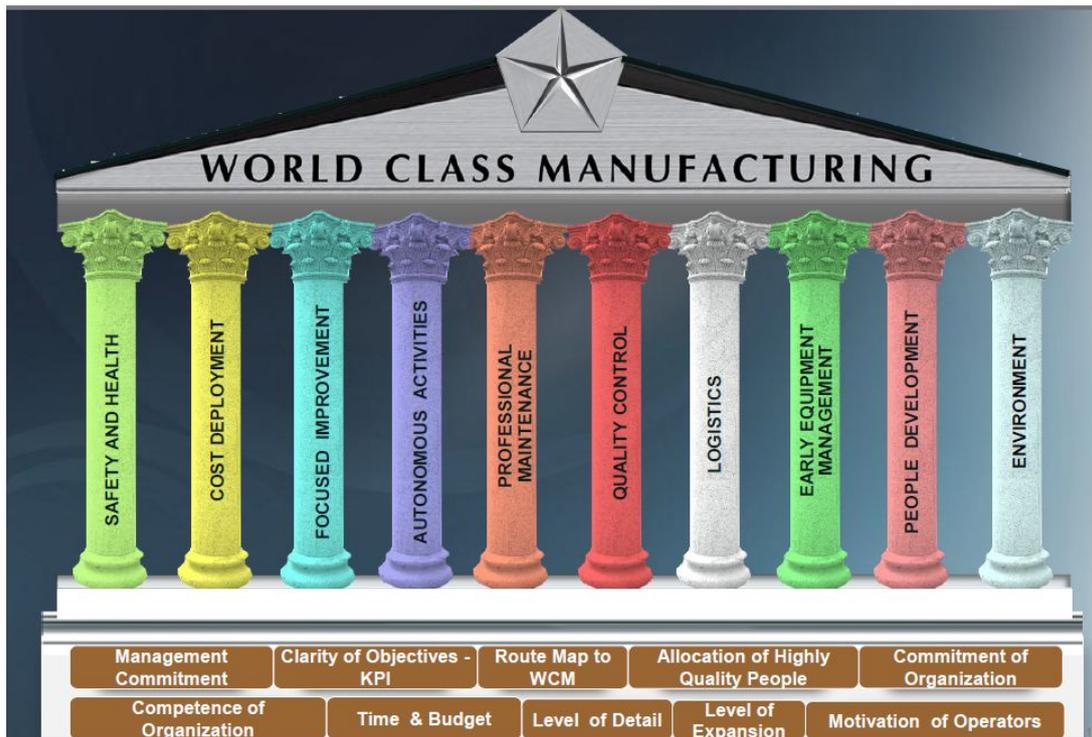


Figura 3.1: 10 Pilares do WCM

É vital desenvolver produtos com qualidade garantida que antecipe as necessidades do cliente, produtos que sejam competitivos, fáceis de vender e fáceis de produzir, e tudo isso eficientemente. Além disso, a transição do desenvolvimento para produção em larga escala deve ser rápida e com a menor quantidade de problemas possíveis. De acordo com [14], para alcançar tal objetivo deve-se identificar os requisitos para produção (equipamentos, material, pessoas e métodos) para levar os produtos até o mercado, eliminar as perdas associadas aos equipamentos que os produzem e maximizar o retorno dos investimentos. Ou seja, deve-se garantir que os equipamentos de produção sejam fáceis de usar, fáceis de manter, altamente confiáveis e bem projetados. Com tais equipamentos, garantir a qualidade dos produtos torna-se relativamente simples.

Em processos industriais, a maioria dos equipamentos são frequentemente customizados de acordo com especificações individuais. Esses equipamentos são frequentemente projetados, fabricados e instalados precipitadamente. Sem a aplicação estrita da gestão preventiva (*Early Equipment Management* - pilar EEM) tais equipamentos entram nas fases de testes e início de produção com muitos defeitos escondidos. Isso acarreta em pessoas da produção e manutenção descobrindo defeitos nos equipamentos que foram gerados durante as fases de projeto, fabricação e instalação. O pilar EEM é particularmente importante porque grandes investimentos são feitos nos equipamentos produtivos da empresa e espera-se que a

planta opere com esses equipamentos por um longo período de tempo, garantindo o retorno do investimento.

O propósito do pilar EEM é o suporte para aquisição e gestão de todos os equipamentos produtivos da empresa através de métodos e ferramentas eficientes. De acordo com [3], o pilar EEM possui métodos e ferramentas para garantir que os projetos de aquisição forneçam equipamentos ou dispositivos com as melhores performances produtivas e de classe mundial. A responsabilidade do pilar é de desenvolver projetos de equipamentos à altura das melhores referências mundiais, como consumo, produtividade, custos, qualidade e manutenção. Deve-se buscar reduzir o período de *startup* (início de funcionamento do equipamento) e também o *lead time* entre a concepção e início da produção.

A visão do pilar EEM é prover o melhor equipamento para alcançar as exigências do mercado e as estratégias da empresa. O pilar precisa garantir que as pessoas responsáveis pelos projetos de compra de novos equipamentos compreendam e utilizem os conceitos de EEM durante todo o desenvolvimento, construção, instalação e startup desses equipamentos. Se todos esses itens forem cumpridos, o EEM tem como objetivo:

- Custos mínimos através da redução do *Life Cycle Cost* (LCC) dos equipamentos;
- Garantir as qualidades requeridas no projeto;
- Garantir a segurança do equipamento e dos operadores;
- Redução de *lead time* e *startup*;
- Equipamentos mais confiáveis e de fácil manutenção e setup;
- Equipamentos de melhores performances produtivas e ecologicamente corretos;
- Equipamentos simples, flexíveis e de baixo custo.

Para auxiliar na gestão preventiva dos equipamentos, o Pilar conta com alguns KPI's (*Key Performance Indicators*) essenciais: *Vertical Startup*; *Life Cycle Cost*; *Overall Equipment and Labour Effectiveness* (OEE e OLE); *Lead Time* do Projeto e Custos do Projeto. Para guiar o desenvolvimento dos projetos de novos equipamentos, o pilar EEM é constituído de 7 passos, mostrados na figura 3.2, os quais devem ser seguidos pelos membros do projeto para garantir os objetivos citados anteriormente. São eles:

Planejamento: Conceito do equipamento e determinação de diretrizes;

Projeto básico: Estimação dos custos do equipamento, cronograma e especificações básicas do conceito;

Projeto detalhado: FMEA do equipamento, capacidade produtiva, projeto concreto do equipamento e determinação de especificações;

Construção: Agendamento financeiro, determinação do prazo final, especificações e depuração de erros;

Instalação: Layout, controle de instalação, instalações de suporte, fiação e tubulação e treinamento de operadores;

Tryout: Confirmação da capacidade e performance do equipamento, detecção de problemas na operação e manutenção, confiabilidade, manutenibilidade, operabilidade e segurança;

Startup: Controle de fluxo inicial, capacidade do equipamento, capacidade do processo, taxa de defeitos, quebras, paradas frequentes e OEE.

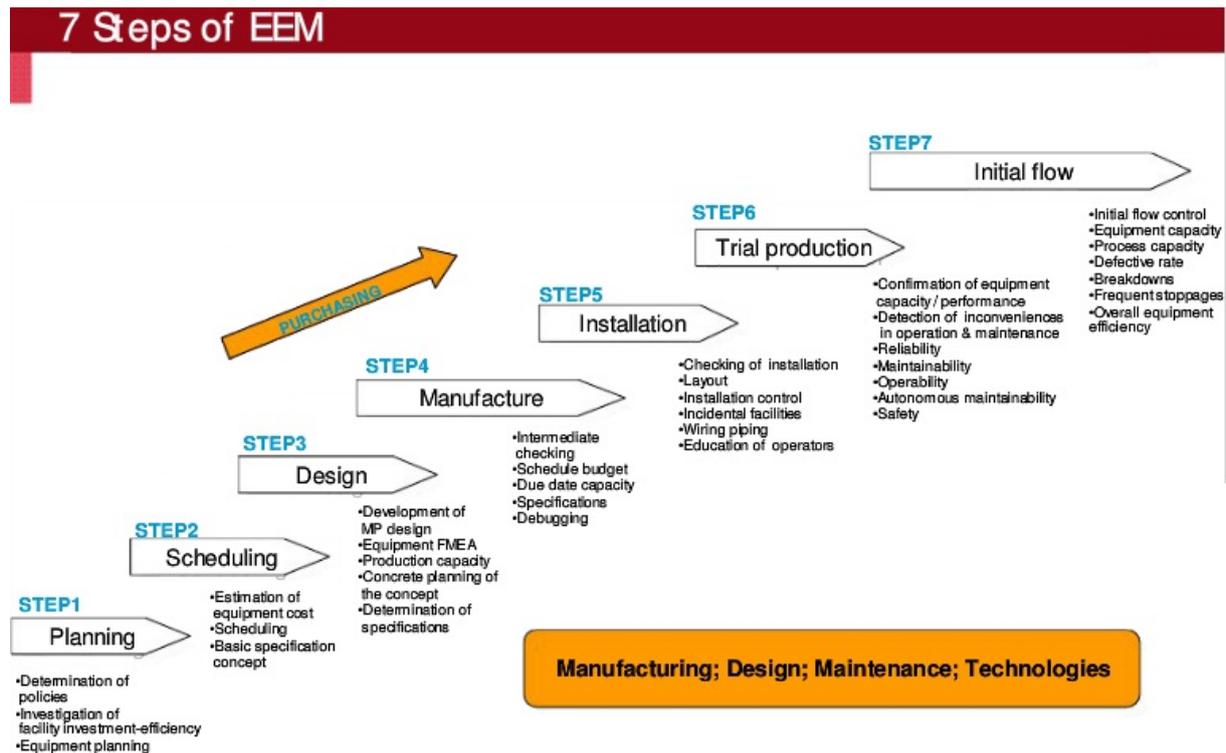


Figura 3.2: 7 passos de EEM. [5]

O pilar também possui alguns conceitos desenvolvidos ao longo do tempo que ajudam a alcançar os objetivos citados acima. São conceitos que guiam a empresa desde a concepção, aquisição, manutenção e gestão dos equipamentos. Seguindo a ideia desses conceitos de EEM a empresa garantirá a performance, qualidade e confiabilidade dos equipamentos ao menor custo possível.

3.1 Mapa de Conhecimento

O pilar EEM busca garantir que todos os membros do projeto possuam conhecimento suficiente para o pleno desenvolvimento das atividades. Para auxiliar no desenvolvimento do

projeto, o pilar conta com diversas ferramentas e conceitos, chamadas de vozes. O pilar EEM é constituído de 30 vozes que são divididas em três estágios de ação: Reativo, Preventivo e Proativo. A figura 3.3 apresenta as 30 vozes do pilar EEM.

IDP - Individual Development Plan	
Ação	Vozes
Reativo	1. 5G
Reativo	2. 5W + 1H, 5Porques
Reativo	3. 7 Ferramentas do WCM
Reativo	4. 7 passos do EEM
Reativo	5. OEE e estrutura de perdas
Reativo	6. Gestao de projetos
Reativo	7. Sistema DR (Design Review)
Reativo	8. Checklist Basico
Reativo	9. Conceito de carga frontal
Reativo	10. IC & RC
Preventivo	11. Process chart
Preventivo	12. Projeto de Segurança intrinseca
Preventivo	13. Matriz QA
Preventivo	14. LCC (Life cycle cost)
Preventivo	15. Process FMEA
Preventivo	16. Manutenibilidade
Preventivo	17. Flexibilidade
Preventivo	18. Operabilidade
Preventivo	19. Operators' involvement at earlier stages
Preventivo	20. Design for separation of labor from equipment
Proativo	21. QFD
Proativo	22. Tooling and processing point
Proativo	23. Process
Proativo	24. Layout
Proativo	25. Visibilidade
Proativo	26. Ferramentas de simulação
Proativo	27. Padronização de peças
Proativo	28. Checklist detalhado
Proativo	29. Engenharia simultanea
Proativo	30. IPS (Ideal production System)

Figura 3.3: Vozes do pilar EEM.

Para mapear o conhecimento de todos os membros em todas as vozes do pilar, conta-se com o auxílio de um mapa de conhecimento, também chamado de *Radar Chart*. Este mapa é construído de acordo com o conhecimento de cada membro nas respectivas vozes do pilar e auxilia na identificação de lacunas em algumas vozes e necessidade de treinamentos. O conhecimento pode ser dividido em 5 níveis:

1. Não tem conhecimento
2. Conhece mas não aplica
3. Conhece e aplica
4. Domina por completo

5. Instrutor

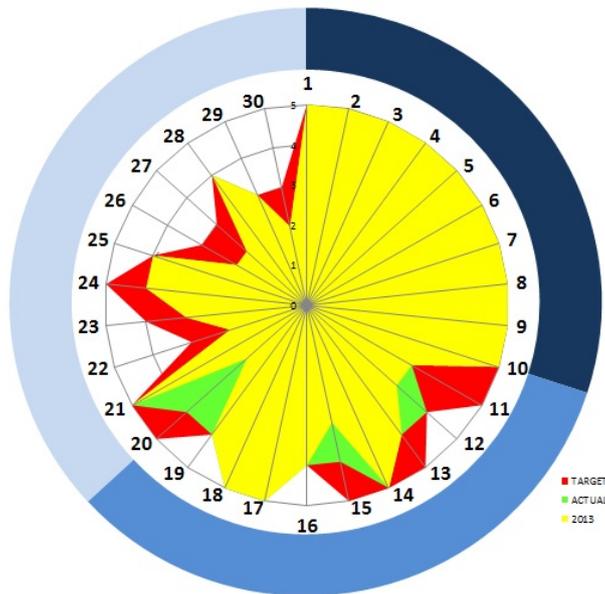


Figura 3.4: Exemplo de *Radar Chart* do pilar EEM.

Todas as vozes são necessárias para o desenvolvimento de um bom projeto de EEM, porém as vozes abaixo são de grande importância neste projeto de robotização de células de solda e por isso serão apresentadas com mais detalhes.

3.2 Carga Frontal

A ideia de carga frontal ou *front loading* é dedicar a maior parte do esforço nos passos iniciais do projeto. Com maior esforço antecipa-se os problemas no início do projeto, quando não apresentam tanto impacto no tempo e no custo do mesmo. Se os membros do projeto não forem pró ativos em relação aos problemas, esses só aparecerão nas fases finais do projeto, onde modificações aumentam consideravelmente o custo e o tempo do projeto. O gráfico da figura 3.5 apresenta a possibilidade de melhorias e também os custos das modificações em cada fase do projeto.

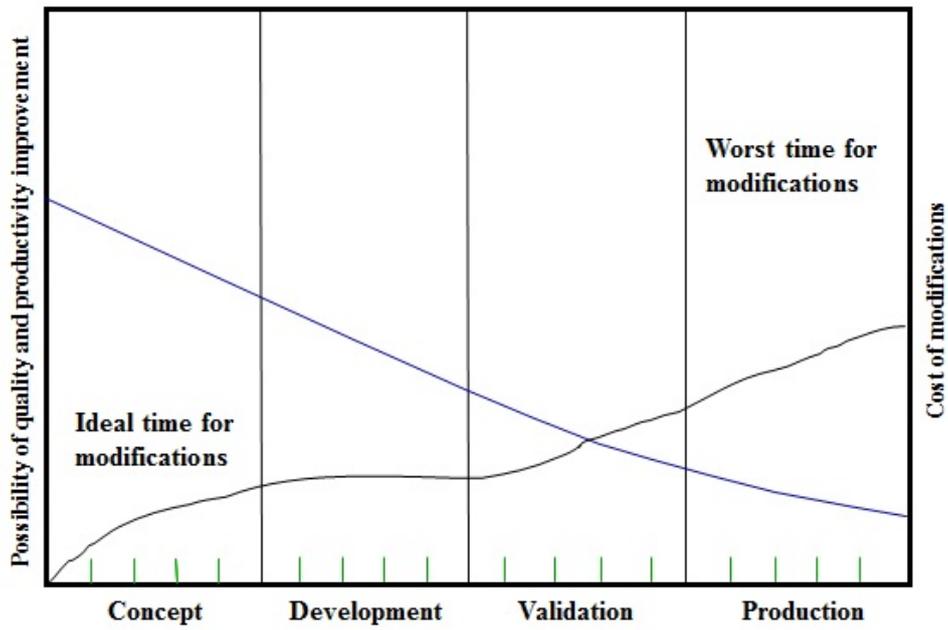


Figura 3.5: Período ideal para modificações. [16]

Para exemplificar, a figura 3.6 mostra o custo e o lead time de um projeto desenvolvido com o conceito de carga frontal do pilar EEM. Como pode ser visto, quando se aplica o conceito de carga frontal, gasta-se mais tempo nas etapas iniciais porém consideravelmente menos tempo nas etapas finais, garantindo também um custo e lead time menores para o projeto.

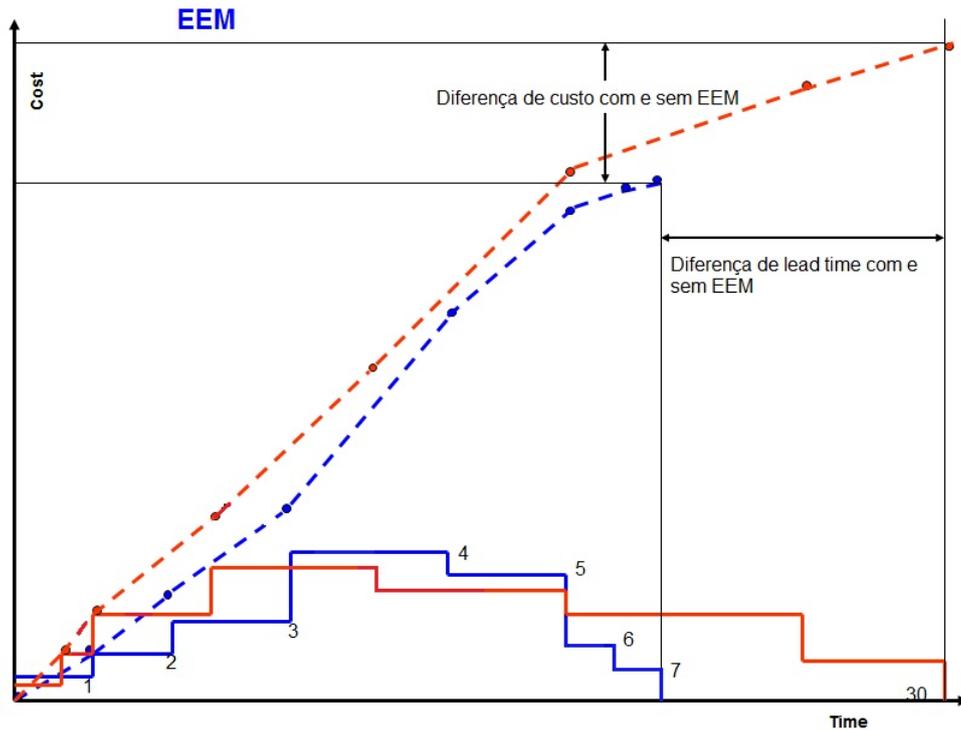


Figura 3.6: Custo e lead time de um projeto aplicando conceito de carga frontal.[16]

3.3 OEE e OLE

Overall Equipment Effectiveness (OEE) e *Overall Labour Effectiveness* (OLE) são indicadores (KPI's) que medem a eficiência quanto ao uso dos equipamentos e do trabalho dos operadores. Com eles é possível verificar o quanto a empresa está utilizando os recursos disponíveis (mão-de-obra, máquinas e materiais) na produção. De acordo com [1] a grande vantagem do OEE é que ele desmembra a eficiência nos seus três componentes: disponibilidade, performance e qualidade, como pode ser observado na figura 3.7.

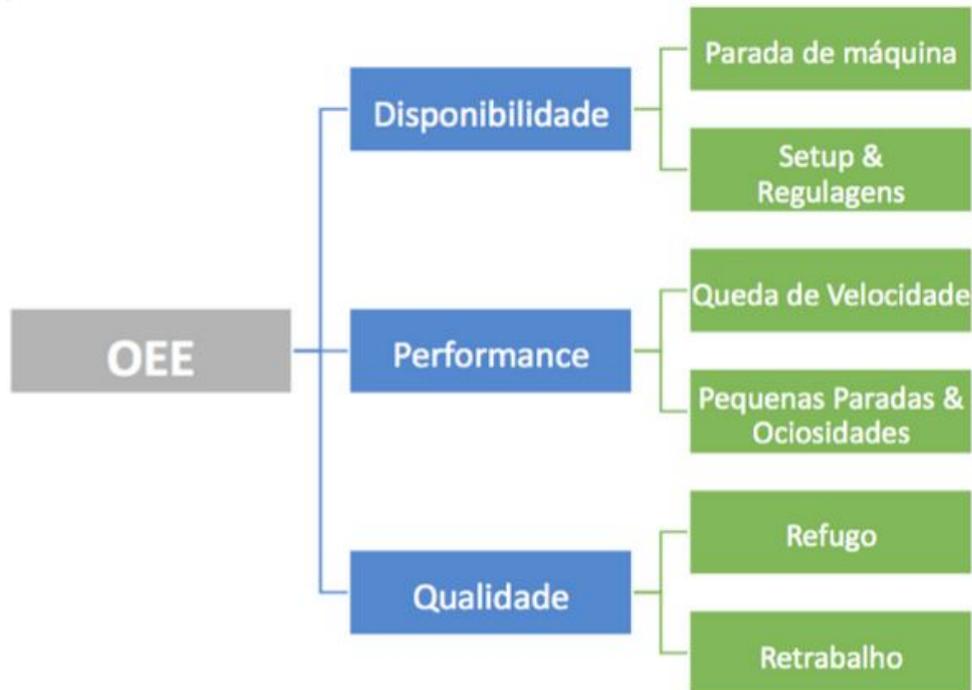


Figura 3.7: Componentes do indicador OEE. [1]

3.3.1 Disponibilidade

Disponibilidade é o percentual do tempo que o equipamento estava trabalhando, comparado ao total do tempo disponível para ser utilizado. O tempo de parada pode ser classificado em:

- Paradas planejadas: como por exemplo, intervalo no almoço, manutenção planejada, fim de semana e feriados.
- Paradas não planejadas: como por exemplo, as quebras das máquinas, falta de matéria prima, falta de operador e entre outros.

As paradas planejadas não influenciam no indicador de disponibilidade (OEE) e compõem um outro indicador: a produtividade efetiva total dos equipamentos – TEEP (*Total Effectiveness Equipment Performance*)

3.3.2 Performance

É a relação entre a velocidade real que o equipamento operou com a velocidade padrão que ele deveria operar. A perda por performance é o tempo em que a máquina ficou trabalhando abaixo da velocidade ou ritmo adequado, podendo ser:

- Perda por pequenas paradas.

- Perdas por queda de velocidade.

As perdas causadas pela performance são muito difíceis de serem observadas de forma manual ou visual, devido aos tempos de ciclo muito curtos e pequenas variações no processo. Normalmente as empresas não tem como calcular corretamente essa perda e fazem o cálculo da perda de performance de forma aproximada. Porém, o conhecimento dessa perda é de extrema importância, pois grande parte das empresas utiliza o tempo padrão para o cálculo do custo da peça e para o cálculo da ocupação fabril mediante o plano de produção (carga máquina).

3.3.3 Qualidade

É a relação entre o tempo de produção total pelo tempo perdido com a fabricação de peças defeituosas. Pode ser representada como “Perdas por refugo ou retrabalhos”. Portanto o OEE permite analisar separadamente as atividades que influenciam a eficiência, e que, se consideradas juntas, poderiam mascarar os resultados. O OEE pode ser considerado um integrador de áreas, já que fornece a informação de desempenho que afeta toda a fábrica. Deste modo, todas as áreas como manufatura, engenharia, qualidade e manutenção respondem pelo mesmo indicador e devem trabalhar em conjunto para a melhoria dele. Além disso, o OEE fornece dados para a tomada de decisão estratégica. Através dele a alta gestão consegue visualizar a real capacidade da fábrica em atender a demanda.

Assim sendo, uma pequena melhoria no OEE pode proporcionar uma grande melhoria no resultado da fábrica. Este é um índice que é facilmente calculado, e pode mostrar o tamanho da “fábrica oculta”. Há exemplos comprovados de que uma melhora de 10% no OEE leva a indústria a ter uma elevação em seu resultado de 30% ou mais. Isso nos mostra a importância de conhecer e controlar esses indicadores.

3.4 Vertical Startup

O propósito das atividades de gestão preventiva é alcançar rápida e economicamente produtos que são fáceis de fazer e equipamentos que sejam fáceis de usar. Em projetos de desenvolvimento de novos equipamentos inicia-se as atividades com o projeto do processo em questão, projeto de layout para o equipamento e projeto detalhado do mesmo. A seguir ocorre a aquisição do equipamento, construção, instalação e operações de teste. Para planejar tais projetos, a equipe responsável determina os níveis técnicos desejados (funções e performance) juntamente com os níveis de disponibilidade (confiabilidade, manutenibilidade, etc.) e então estabelece o orçamento e o tempo para alcançá-los. No desenvolvimento de novos equipamentos, vários projetos são realizados: projeto funcional, projeto de confiabilidade e manutenibilidade, projeto de segurança e projeto econômico. Após realizadas essas atividades a equipe instala o equipamento, realiza testes e inicia a fase de startup. De acordo com [14] o gerenciamento do startup é uma atividade projetada para alcançar o mais rápido

possível as condições para iniciar a produção de produtos com qualidade estável e zero defeitos. No WCM, esta abordagem para uma produção estável e de larga escala é conhecida como *vertical startup*.

O período de startup corresponde ao tempo entre o início da utilização de um novo equipamento e o alcance do OEE alvo para este equipamento. Ou seja, se o OEE designado para uma máquina é de 80%, o tempo que a máquina leva para alcançar este valor de OEE com zero defeitos é chamado de startup. Como dito anteriormente em 3.2, quando se utiliza o conceito de carga frontal, os problemas devem aparecer ainda no início do projeto, quando são mais fáceis de serem resolvidos sem afetar tanto o custo e tempo do projeto. O mesmo serve para o conceito de startup. Quando se realiza o startup de uma máquina sem aplicar os conceitos do pilar EEM, o período de startup e a quantidade de problemas tendem a ser bem maiores do que se fossem aplicados os conceitos de EEM. Com o auxílio das ferramentas e métodos disponíveis no pilar, é possível realizar um startup vertical, ou seja, fazer certo da primeira vez [14]. Assim, todos os problemas que poderiam ocorrer já foram resolvidos em fases prévias e o período para se alcançar o OEE desejado diminui consideravelmente, como pode ser visto na figura 3.8.

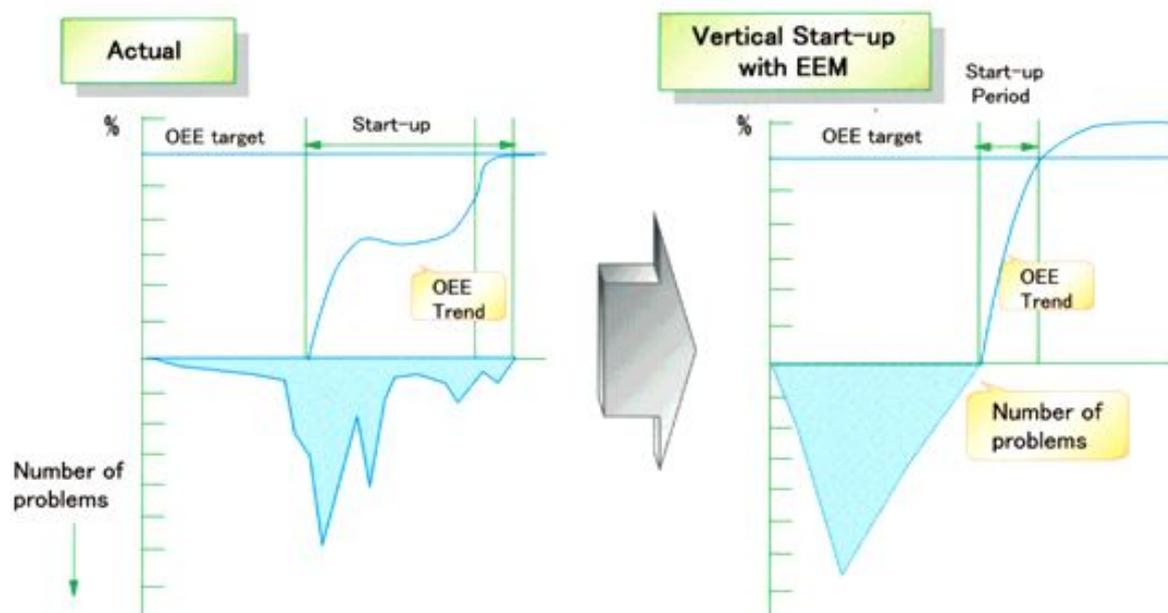


Figura 3.8: Startup sem EEM e com EEM. [16]

3.5 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma importante ferramenta quando se trata de redução de custos dos equipamentos e aumento da produtividade dos mesmos. Após o início da operação normal dos equipamentos, a checagem, lubrificação e limpeza para prevenir a deterioração e falhas podem ser difíceis de executar, assim como o setup, ajustes e reparos. Quando o equipamento não é projetado para ser operado e mantido com facilidade, operadores e mantenedores tendem a negligenciar a rotina de manutenção. O setup e ajuste dos equipamentos levam tempo demais e até o mais simples reparo necessita que desligue todo o equipamento por longos períodos.

De acordo com [14] atividades de manutenção preventiva minimizam futuros custos de manutenção e perdas por deterioração de novos equipamentos. A minimização desses custos é possível através de projetos que levam em conta (durante o planejamento e construção de equipamentos) dados de manutenção de equipamentos atualmente em uso e também projetos de novos equipamentos considerando uma alta confiabilidade, manutenibilidade, economia, operabilidade e segurança. Idealmente, equipamentos projetados sob o conceito de MP não devem quebrar ou produzir produtos com inconformidades, devem ser fáceis e seguros de operar e de manter. O processo de projeto de MP melhora a confiabilidade de equipamentos através da investigação de fraquezas e pontos fracos em equipamentos existentes realimentando a informação para os projetistas dos novos equipamentos.

Para ajudar os projetos de MP de novos equipamento, o pilar EEM conta com a ajuda de uma importante ferramenta de documentação de falhas e problemas que ocorrem em equipamentos que já são utilizados no chão de fábrica da empresa. Esses documentos são chamados de MPInfo (*Maintenance Prevention Information*) e busca documentar todo e qualquer problema que ocorre com os equipamentos assim como as dificuldades encontradas para realizar a manutenção dos mesmos, seja ela corretiva, preventiva ou preditiva. Através da criação de MP Infos, com o tempo cria-se uma base de dados que ajuda no desenvolvimento de novos projetos, incluindo modificações já realizadas nas fases de projeto dos novos equipamentos, se antecipando a problemas que possam vir a ocorrer no futuro. Sendo assim, as MP Infos são uma importante ferramenta no auxílio a execução de um startup vertical.

3.6 Life Cycle Cost

Uma das bases da gestão preventiva de equipamentos é a avaliação da performance econômica de um projeto. O custo inicial na compra de ativos é geralmente bem definido e muitas vezes um fator determinante para a escolha do equipamento dado um número de alternativas no mercado. No entanto, o custo inicial é apenas uma parte dos custos ao longo do ciclo de vida de um equipamento que precisam ser considerados para se fazer uma escolha segura de investimento. O processo de identificação e documentação de todos os custos envolvidos ao longo da vida de um ativo é conhecido como *Life Cycle Costing* (LCC). O LCC pode ser definido também de acordo com [14]: *Life Cycle Cost* é o total dos custos gerados

durante o projeto, desenvolvimento, produção, operação e manutenção dos equipamentos.

O custo total de propriedade de um equipamento é muitas vezes muito maior do que o custo inicial de investimento e pode variar significativamente entre as diferentes alternativas para uma dada necessidade operacional. A consideração dos custos ao longo de toda a vida de um equipamento fornece uma base sólida para a tomada de decisões [4]. Um estudo do LCC envolve analisar os custos de um sistema e seus componentes através de toda sua vida útil. Custos típicos para se analisar em um sistema incluem:

- Custos de aquisição
- Custos operacionais
 - Falhas
 - Reparos
 - Peças adicionais
 - Paradas
 - Perda de produção
- Custos de manutenção
 - Manutenção corretiva
 - Manutenção preventiva
 - Manutenção preditiva
- Custos com depreciação

De acordo com [16] na abordagem tradicional utilizamos o investimento inicial (*initial cost*) como forma de escolher entre diferentes equipamentos. O WCM requer uma abordagem diferente, onde o equipamento deve ser mais barato não só no investimento inicial, mas também no custo de operação e manutenção (*running costs*) que a empresa terá durante todo o ciclo de vida do equipamento. O LCC pode então ser descrito como os custos de projeto e fabricação IC mais os custos de operação e manutenção RC.

$$LCC = IC + RC$$

$$LCC = IC + O + M$$

Onde:

IC: *Initial cost*

RC: *Running cost*

O: Operação

M: Manutenção

O custo de um equipamento não é considerado um resultado do projeto e sim um alvo a ser alcançado. Uma vez que o custo alvo de todo o sistema ou equipamento é determinado na fase preliminar de projeto, esses custos são distribuídos entre os subsistemas de primeiro nível, e então entre os subsistemas de segundo nível até que eles alcancem todos os subsistemas ou componentes do equipamento.

Na metodologia WCM, no mínimo 80% do LCC de um sistema ou equipamento é determinado nas fases preliminares de projeto do equipamento, como pode ser visto na figura 3.9, e é por isso que os parâmetros do LCC devem ser levantados nas fases iniciais, ressaltando a importância do conceito de carga frontal (3.2).

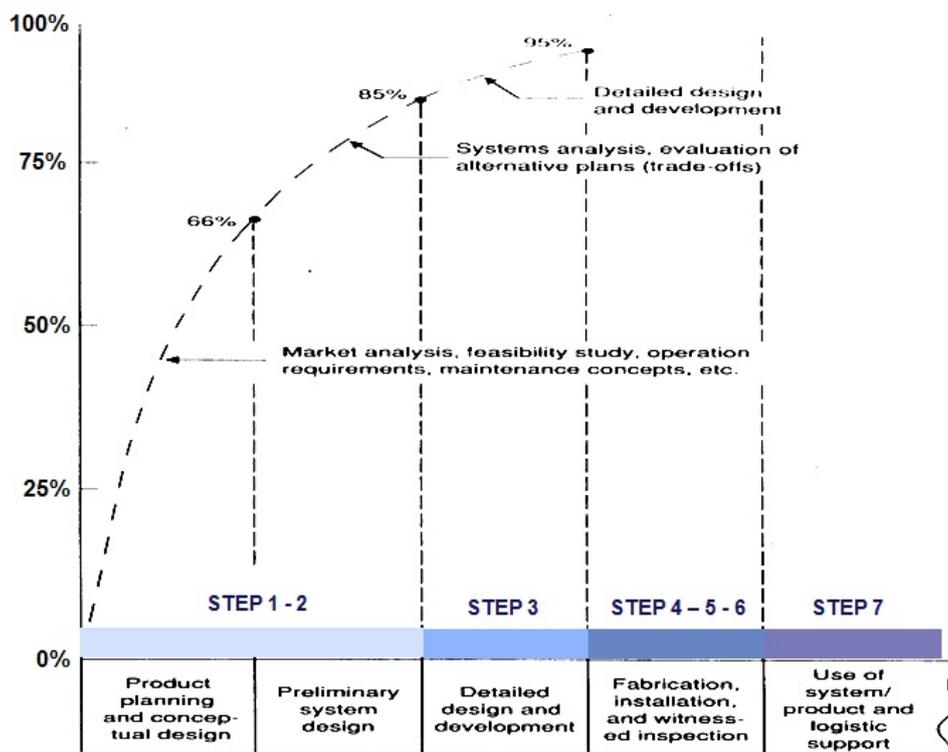


Figura 3.9: Determinação do LCC nas fases iniciais do projeto. [16]

A análise do LCC é constituída de 6 etapas. Primeiro, busca-se reduzir o custo inicial do equipamento, calcula-se o LCC e então analisa-se itens do RC com maiores custos. Depois, sugere-se melhorias no projeto do equipamento para minimizar o RC. Então estima-se um adicional no custo inicial IC e seus efeitos na redução do custo de operação RC. Por fim escolhe-se as melhorias a serem aplicadas no projeto com base nas estimativas de aumento de IC e redução de RC.

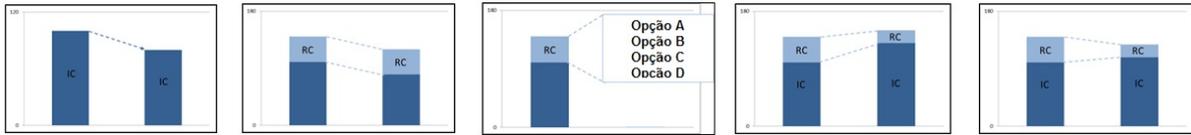


Figura 3.10: Passos para cálculo do LCC. [14] [16]

Na figura 3.11 pode-se observar um gráfico típico de um estudo LCC considerando três fornecedores hipotéticos. Cada linha representa os custos de um dos fornecedores analisados no estudo LCC. O custo inicial é evidenciado pelo valor no Ano 1 e os valores de RC de cada fornecedor são incrementados a cada ano. Assim sendo, quanto maior a inclinação da linha, maior é o RC do fornecedor. Pode-se observar na figura 3.11 que se a abordagem tradicional fosse utilizada, o fornecedor escolhido seria o com valor inicial mais baixo, porém acabaria gerando mais custos à empresa durante a vida útil do equipamento.

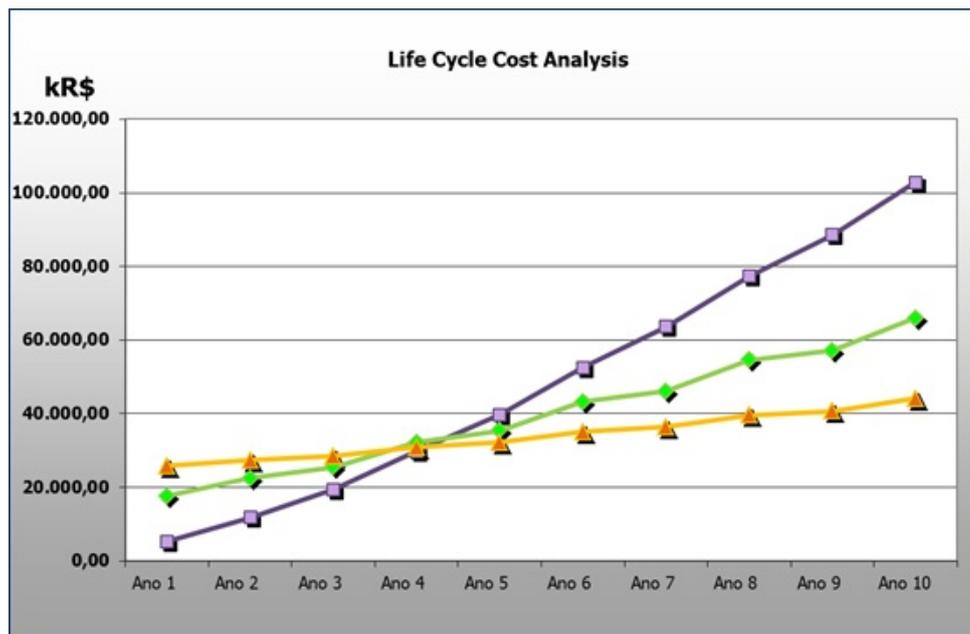


Figura 3.11: Exemplo de uma análise de LCC.

3.7 MTBF e MTTR

Para realizar uma análise de *Life Cycle Cost* é necessário a utilização de dois conceitos que ajudam a calcular os *running costs* do LCC, o MTBF (*Mean Time Between Failures*) e o MTTR (*Mean Time To Repair*). Antes de definir o MTBF e o MTTR, precisa-se definir o conceito

de confiabilidade e disponibilidade de uma máquina. De acordo com [15] confiabilidade é a habilidade de um sistema ou componente de desempenhar as funções exigidas sob certas condições por um período de tempo específico. Em outras palavras, é a probabilidade que o sistema ou componente irá suceder em um tempo determinado sem falhas. Disponibilidade por outro lado é o grau que um sistema ou componente está operacional e acessível quando for necessário utilizá-lo. As equações 3.1 e 3.2 definem Confiabilidade e Disponibilidade em função do MTBF e MTTR.

MTBF pode ser descrito então como o tempo médio entre falhas de um sistema ou equipamento e é uma medida básica da confiabilidade de um sistema. Quanto maior for o MTBF, maior será a confiabilidade da máquina.

$$Confiabilidade = e^{-\left(\frac{Time}{MTBF}\right)} \quad (3.1)$$

Já o MTTR é o tempo esperado para recuperar um sistema ou equipamento de uma falha. O MTTR pode incluir o tempo que leva para diagnosticar o problema, o tempo para conseguir um técnico no local e o tempo para fisicamente recuperar o sistema ou equipamento.

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.2)$$

Como pode ser visto na equação acima, o MTTR afeta a disponibilidade e não a confiabilidade de um sistema. A figura 3.12 demonstra os conceitos de MTBF e MTTR.

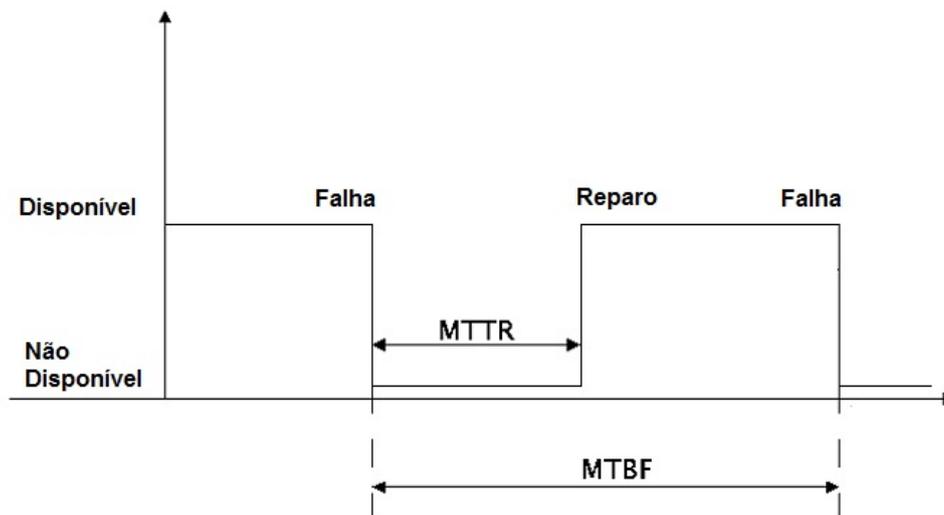


Figura 3.12: Demonstração de MTBF e MTTR.

Capítulo 4

Célula Robotizada

A utilização de robôs no setor industrial é geralmente realizado sob um dentre dois possíveis conjuntos de circunstâncias. O primeiro, se refere a uma nova instalação física e/ou novo processo produtivo. Nessa situação, robôs são incorporados durante o planejamento inicial, permitindo grande flexibilidade nas decisões. O segundo, se refere a uma situação mais comum, onde robôs devem ser incorporados a processos ou operações já existentes, que é o caso deste projeto, frequentemente por decisão gerencial, visando maior produtividade e/ou qualidade das tarefas. Nessa situação, mudanças ou adaptações no produto, processo, equipamento ou instalação física, que eventualmente podem ser necessárias, são em geral, difíceis de serem acomodadas.

De acordo com [12], para assegurar o sucesso em qualquer um dos casos, a incorporação de robôs deve ser abordado de uma maneira sistemática. A implantação de um sistema de produção robótico é melhor realizado num processo com múltiplos passos que envolve não apenas o robô mas também o produto, os equipamentos de produção, o arranjo físico, o escalonamento, o fluxo de materiais, e outros fatores. Para atender essas necessidades dispõe-se da metodologia WCM, dividindo o projeto em passos com o auxílio das ferramentas citadas no capítulo 3. Ainda de acordo com [12] as máquinas automáticas são de elevado custo e devem ser introduzidas num contexto em que há segurança acerca do retorno do investimento. O grande risco na introdução de máquinas automáticas está na sua sub-utilização. É preciso ter em mente que o objetivo de um projeto de robotização não é o de simplesmente reproduzir métodos e sistemas existentes através da troca de pessoas por robôs. O objetivo deve ser sim, o de desenvolver um novo sistema integrado que proporcione os seguintes aspectos:

- flexibilidade;
- maior produtividade;
- menores custos de operação;
- maior qualidade;
- eliminação de problemas que afetam a saúde e a segurança.

Com o objetivo de reduzir os custos de produção das plataformas e cabines é proposto a robotização das células de solda desses produtos. Com a robotização busca-se reduzir a ociosidade no interior da célula, logo, aumentando a produtividade, através de um robô aliado ao abastecimento dos dispositivos de solda por operadores. A robotização também tem como objetivo realizar a soldagem das peças na maior velocidade possível melhorando a qualidade da solda, garantindo maior repetibilidade das peças soldadas. A célula precisa também garantir durante todo o tempo a segurança dos operadores e do sistema robotizado em si. Neste capítulo serão apresentados os detalhes da célula robotizada pensada para este projeto.

4.1 As Células

As células de solda para este projeto devem ser elaboradas para comportar a dimensão de todas as peças soldadas. Para evitar a ociosidade do sistema robotizado de solda sugeriu-se uma célula com o robô na posição central e posicionadores de ambos os lados do robô. Assim, enquanto o robô solda uma peça de um lado, um operador pode abastecer o dispositivo do outro, para que quando o robô termine a solda de uma peça de um lado já possa iniciar a solda da outra peça.

Por se tratar de solda, alguns aspectos de segurança devem ser considerados. A célula deve conter proteção que evite a emissão de raios UV para o ambiente. O sistema também deve garantir a segurança dos operadores no interior da célula, não permitindo que os mesmos adentrem na área de trabalho do robô. A segurança do próprio robô e das peças soldadas também devem ser levados em consideração.

O robô de solda tem que ser capaz de soldar as peças na maior velocidade de solda possível, sem comprometer a qualidade final dos cordões de solda. O robô será responsável pela solda de todos os subgrupos das plataformas e cabines, conforme citado no capítulo 2, porém o fechamento das mesmas continuará sendo realizado de forma manual, devido a complexidade do acesso aos pontos de solda nos dispositivos de fechamento.

Com esses conceitos definidos, buscou-se no mercado as possíveis soluções disponíveis, utilizando-se também de benchmarking de outras plantas da empresa e de parceiros. O modelo de célula a ser utilizado neste projeto é mostrado na figura 4.1.

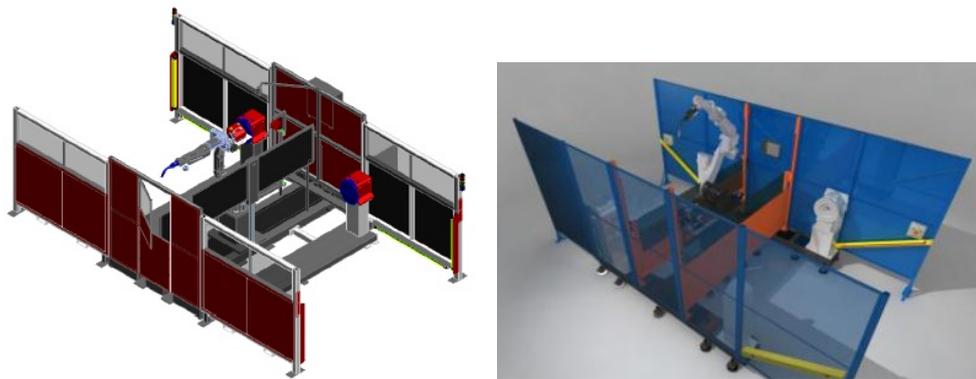


Figura 4.1: Modelos de célula a serem utilizadas para robotização. APL e APH (esquerda) e CCM (direita).

Os gabaritos a serem utilizados nas células robotizadas serão praticamente todos os mesmos que já são utilizadas nos processos atuais, com exceção dos gabaritos para solda do modelo APL que já são antigos e deverão ser trocados. Para que seja possível reutilizar os gabaritos atuais, alguns ajustes deverão ser realizados, principalmente para que seja possível garantir o referenciamento de posição dos mesmos quando inseridos na área de trabalho do robô. Outro ajuste necessário será a readequação de grampos que possam intervir na movimentação do robô, facilitando pontos de acesso para realização das operação de solda. Os gabaritos deverão receber um ponto de referenciamento que o robô utilizará como ponto zero, realizando o ajuste de coordenadas para início da solda. Como dito anteriormente, os robôs serão utilizados para a solda dos subconjuntos das plataformas e cabines, e o fechamento das mesmas continuará sendo realizado manualmente.

4.2 Robô

No centro da célula estará posicionado um robô manipulador para a realização da solda. Como citado anteriormente, a célula suportará até quatro peças, duas em cada lado do robô. Para a realização da solda, o robô necessita de 6 graus de liberdade, uma alta repetibilidade, altas velocidades de rotação dos eixos e uma área de trabalho suficiente para o alcance de todas as juntas das peças a serem soldadas na célula.

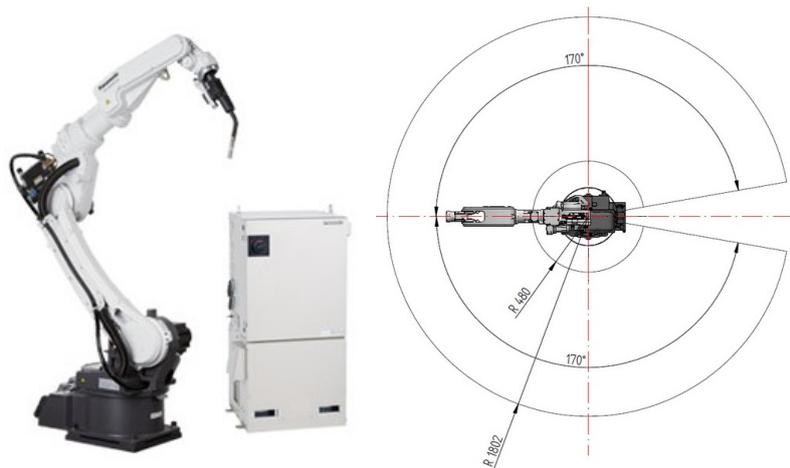


Figura 4.2: Exemplo de modelo do robô a ser utilizado e seu raio de ação.

Para garantir a qualidade dos cordões de solda e a padronização do processo, o robô necessita de sensores que auxiliem o reconhecimento das juntas, assim é possível a correção de pequenas variações dimensionais das peças. De acordo com [8] um robô, como um soldador humano, solda qualquer junta. Entretanto, quando se considera a possibilidade de robotização da soldagem de uma determinada peça ou dispositivo, deve-se considerar também a repetibilidade. Em outras palavras, apesar de ser possível utilizá-lo para soldagens de recuperação e manutenção, deve-se considerar sempre a utilização de um robô para soldagens seriadas e neste caso, para obter cordões de solda iguais. Para isto, deve-se garantir que as peças a serem soldadas estejam dentro de tolerâncias adequadas. Neste caso, o projeto das juntas deve considerar o acesso e a abertura da junta tal que permita a deposição homogênea do metal de solda.

Ainda de acordo com [8] a tolerância entre as peças deve ser a mínima possível, de modo a permitir o encaixe entre as mesmas ou no conjunto, por isso deve-se sempre pensar em melhorias de tolerâncias das peças. Caso a espessura ou dimensões da peça sejam diferentes da utilizada para a programação da trajetória e das condições de soldagem do robô, o cordão de solda será posicionado em uma posição diferente da desejada, ou seja, não cobrirá completamente o chanfro ou a junta, ou o fará de forma incompleta. Consequentemente, a precisão e os dispositivos de fixação necessitam ser modificados para o sucesso da operação, acarretando assim em altos tempos de setup, contrariando a ideia inicial de redução dos tempos de NVAA nas células de soldagem. Esta variação das dimensões da peça, entretanto, podem ser superadas através do uso de sensores especiais e sistemas de controle adaptativos desenvolvidos especialmente para operações de soldagem robotizada a arco.

A escolha de um robô está relacionada com a tecnologia a ele agregada. Deve-se adquirir um robô com a maior qualidade e repetibilidade possível. Atualmente, um robô de seis graus de liberdade é o mais indicado para as operações em soldagem, por ser mais flexível (consegue alcançar todos os pontos de seu espaço de trabalho) que aqueles de menores graus

de liberdade. Além disso, deve-se optar por robôs que possuam servo motores alimentados por corrente alternada (CA). Essa é uma tecnologia recente na área de robótica que elimina a necessidade do robô ir à posição inicial, sempre que for ligado. Outro fator importante a ser observado é a segurança. Embora a responsabilidade da segurança na célula robótica é da empresa e do operador, o robô deve fornecer vários níveis de segurança. A segurança deve ser desde o total travamento dos servos motores, até a implantação de barreiras físicas entre o robô e o operador, não se esquecendo da verificação do programa sem que ocorra a abertura do arco elétrico.

O fator motivador para implementação de soldagem robotizada é a diminuição dos tempo de NVAA, como já citado anteriormente. De acordo com [8] as juntas dos braços do robô movem-se rapidamente se forem utilizados motores elétricos. As máximas velocidades encontram-se entre 6.000 e 9.000 cm/min, velocidade essa muito superior à velocidade de soldagem dos processos a arco elétrico. Usualmente, o robô soldará com a mesma velocidade ou ligeiramente mais rápido que um soldador, mas a elevada velocidade de manipulação reduz o tempo de movimentação entre os cordões de solda e entre a troca de peças (NVAA), portanto, reduzindo o tempo total de fabricação por soldagem.

4.3 Posicionadores

Para posicionamento das peças no interior da célula esta deve conter dois posicionadores, um em cada lado da célula, cada um com uma mesa de suporte. Cada posicionador deve suportar dois gabaritos de solda simultaneamente, dessa forma, enquanto o robô está realizando a solda de peças no posicionador de um lado da célula, o operador pode abastecer os gabaritos na mesa do posicionador do outro lado. Os posicionadores devem trabalhar como um eixo adicional ao robô, trabalhando de forma integrada com o mesmo permitindo uma maior flexibilidade na movimentação do manipulador. O posicionador deve ser capaz de suportar o peso dos dispositivos juntamente com as peças e o suporte deve auxiliar para um rápido e fácil ajuste dos gabaritos, permitindo o setup rápido das peças a serem soldadas. Citando [8]: os gabaritos devem ser simples, porém eficientes e de preferência deve-se optar pela soldagem na posição plana ou horizontal.

4.4 Sensoriamento e Automação

De acordo com [7], na solda MIG/MAG o arco elétrico é gerado em uma atmosfera protegida por gás, entre o metal fundível e a peça a ser soldada. O calor do arco funde o material da peça e o arame de solda, formando o material soldado. O arame é alimentado constantemente por um alimentador automático. A predição de fusão na soldagem é essencial para obter-se qualidades de juntas adequadas e o aumento da produtividade. Processos de soldagem automatizados de forma inteligente exigem tecnologias de controle adaptativo que podem prever a fusão de solda de uma maneira simples e fácil. Ainda de acordo com [7], o

controle dos parâmetros de solda, qualidade e produtividade dos processos MIG/MAG não é uma tarefa fácil devido a complexidade das relações entre os parâmetros e a geometria da zona de fusão. Na verdade, é difícil estabelecer um modelo matemático que pode prever uma ótima condição de soldagem para uma dada geometria de junta. Além disso, a geometria da zona de fusão tem um importante papel na determinação das características mecânicas da solda.

Como citado em 4.2 a utilização de sensores e sistemas de controle adaptativos podem auxiliar na correção de variações dimensionais das peças. Uma forma de aumentar a confiabilidade na soldagem robotizada é considerando a utilização de sistemas de monitoração com sensores. Os sensores têm como função a obtenção de informações sobre o ambiente onde encontra-se o robô, além de informações sobre o processo (parâmetros) de soldagem. As informações obtidas podem ser utilizadas para adaptar o robô ao ambiente ou ajustar os parâmetros de soldagem. Os sensores podem ser utilizados para localizar a estrutura a ser soldada, buscar o cordão de soldagem e seu início, extrair as características geométricas da junta e guiar a tocha de soldagem ao longo do cordão de solda até o ponto final.

Com o objetivo de garantir a segurança do sistema robotizado assim como os operadores no interior da célula, as mesmas devem conter sensores que indiquem a presença de operadores na área de atuação do robô, travando a operação do mesmo se houver. O robô também deve possuir sensores de colisão, travando a operação sempre que o robô vier a colidir com obstáculos durante a soldagem das peças. No que diz respeito a qualidade dos cordões de solda, o robô deverá contar com sensores de toque que permitam o reconhecimento das juntas a serem soldadas através do contato elétrico do eletrodo com a superfície da peça, utilizando a ponta do arame de solda como referência. Com um sensor de toque embutido no robô é possível absorver pequenas variações dimensionais das peças, corrigindo a posição da junta programada para a posição real. Para ajudar no monitoramento da soldagem e detecção de variações no processo o robô também contará com a ajuda de sensores de corrente e tensão do arco, para que estes parâmetros mantenham-se sempre constantes, garantindo uma deposição homogênea do material de solda.

Os gabaritos de solda possuirão sensores indutivos posicionados em todos os grampos de fixação das peças para identificar o total fechamento dos grampos, permitindo que o robô inicie a operação somente quando todos os grampos estiverem fechados. Um sensor para reconhecimento dos gabaritos de solda também deve ser implementado, assim, uma vez que o gabarito for posicionado na mesa dos posicionadores, é realizada a leitura do sensor e o controlador do robô carrega o programa de solda para cada peça automaticamente.

Capítulo 5

Implementação

5.1 *Savings*

Partindo do cenário apresentado no capítulo 2 e seguindo a metodologia e ferramentas apresentadas no capítulo 3 deu-se continuidade a implementação do projeto através do levantamento dos *lead times* esperados com a robotização das células de solda e então estimou-se os custos de produção esperados com as novas células. Com esses valores levantados, foi possível estimar o *saving* resultante, que corresponde à diferença de valor entre os custos de produção antes e depois da implementação das células robotizadas. O *saving* é de extrema importância pois com ele é possível justificar a necessidade de implementação do projeto, caso contrário, o mesmo não seria aprovado pela diretoria da empresa e não seria dado continuidade a implementação do projeto.

Para estimar o tempo gasto com a solda robotizada dos subconjuntos utilizou-se as informações dos cordões de solda contidas nos desenhos técnicos de cada subconjunto. A partir da quantidade de cordões de solda, da dimensão de cada cordão e de uma determinada velocidade de solda, é possível obter um valor aproximado do tempo total para o robô soldar cada subgrupo. No cálculo dos *lead times* do APH e CCM são considerados também os tempos de abastecimento das peças nos gabaritos de solda e setup dos mesmos nos posicionadores do robô. Para os modelos APL não são considerados tais tempos porque estes são na maioria inferiores aos tempos de solda do robô. Assim como as operações manuais, para os tempos de solda estimados para o robô também foi aplicado uma saturação (OEE) de 85%. Na figura 5.1 são apresentados os desenhos 2D com informações dos cordões de solda de dois subgrupos a serem soldados nas células robotizadas, APH (esquerda) e CCM (direita). Como dito em 2.1.1, serão implementadas duas células robotizadas, logo, serão apresentados os tempos e *savings* estimados para cada uma delas.

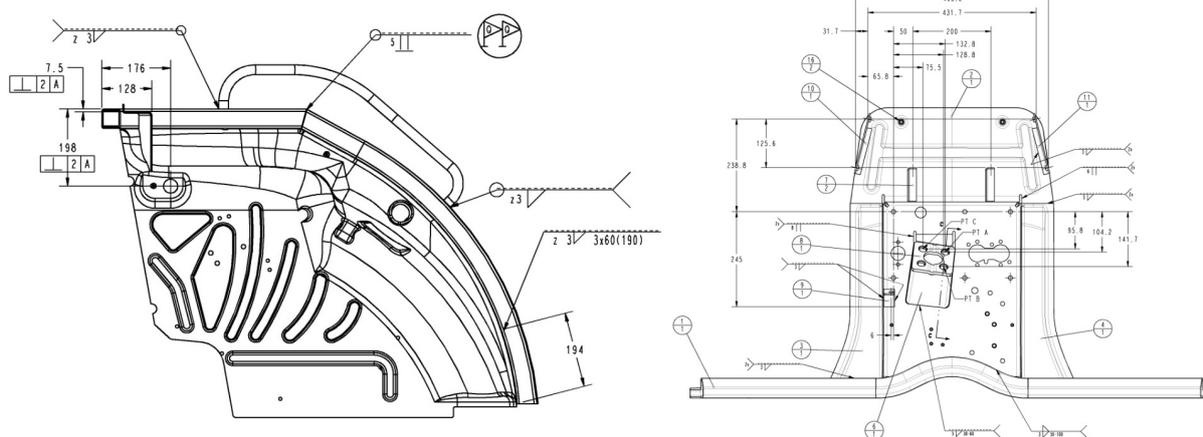


Figura 5.1: Desenhos técnicos com informações dos cordões de solda

5.1.1 APL e APH

Utilizando as informações dos cordões de solda disponíveis nos desenhos 2D de todos os subgrupos (figura 5.1) das plataformas APL e APH, e de uma velocidade de solda constante para estes cordões, levantou-se o *lead time* para solda dos três modelos de plataformas. Considerou-se também para o cálculo do *lead time* do APH os tempos estimados de abastecimento das peças nos gabaritos de solda. Como dito em 4.1, as operações de solda para o fechamento da plataforma na sua forma final continuarão sendo realizadas manualmente, não alterando o valor de *lead time* para estas operações. Nas tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 são apresentados os tempos para solda de todos os subconjuntos das plataformas juntamente com a variação de tempo Δ entre as operações manuais e robotizadas.

Tabela 5.1: Tempos de solda com robô para os subgrupos APH.

Plataforma APH			
Descrição Peça	Tempo Op. Manual	Tempo Op. Robô	Abastecimento Robô
Lateral Direita	01:03:15	00:03:01	00:03:00
Lateral Esquerda	01:03:15	00:03:01	00:03:00
Paralama Direito	00:46:00	00:01:57	00:03:00
Paralama Esquerdo	00:46:00	00:01:46	00:03:00
Longarina Direita	00:34:30	00:03:05	00:02:00
Longarina Esquerda	00:34:30	00:03:08	00:02:00
Firewall	00:51:45	00:03:05	00:03:00
Assoalho	00:46:00	00:01:57	00:02:00
Op. Fechamento	01:35:00	01:30:00	00:00:00
Op. Giratório	01:00:00	01:00:00	00:00:00
Tempo Total	09:00:15	02:50:58	00:21:00
OEE 85% Robô	-	03:16:37	00:24:09
Tempo Total Robô	-	03:40:46	
△	05:19:29		

Tabela 5.2: Tempos de solda com robô para os subgrupos APL/TL.

Plataforma APL/TL			
Descrição Peça	Tempo Op. Manual	Tempo Op. Robô	Abastecimento Robô
Piso Frontal	00:27:00	00:11:42	00:09:00
Firewall + Piso Traseiro	00:23:00	00:09:35	00:06:00
Op. Fechamento	01:33:00	00:08:50	00:07:00
Tempo Total	02:23:00	00:30:07	
OEE 85% Robô	-	00:34:38	
△	01:48:22		

Tabela 5.3: Tempos de solda com robô para os subgrupos APL/Farmall.

Plataforma APL/Farmall			
Descrição Peça	Tempo Op. Manual	Tempo Op. Robô	Abastecimento Robô
Piso Frontal	01:20:00	00:17:59	00:13:00
Firewall + Piso Traseiro	00:57:00	00:09:35	00:08:00
Tempo Total	02:17:00	00:27:34	
OEE 85% Robô	-	00:31:42	
Δ	01:45:18		

Utilizando os valores de Δ para os três modelos de plataforma e as informações de volume e custo da hora de trabalho já apresentadas na tabela 2.4, é possível estimar o *saving* anual para produção das plataformas com a implementação das células robotizadas. Alguns valores foram omitidos por questões de confidencialidade. No lugar utilizou-se indicadores qualitativos.

Tabela 5.4: *Saving* para produção das plataformas APH e APL.

Modelo	Tempo atual (horas)	Tempo c/ Robô(horas)	Volume (Nov/15 - Out/16)	Custo Hora	<i>Saving</i>
APH	9	3,67	193	Valor Médio	R\$ +
APL/TL	2,38	0,57	2498	Valor Médio	R\$ +++
APL/Farmall	2,28	0,52	1072	Valor Médio	R\$ ++
				Total	R\$ 1.614.685,51

5.1.2 CCM

Analogamente às plataformas APL e APH, foram estimados os tempos de solda das cabines CCM com o sistema robotizado. Da mesma forma que o modelo APH, para a cabine CCM também são considerados, além do tempo de solda, os tempos de abastecimento dos gabaritos de solda e setup destes nos posicionadores do robô. Isto porque os tempos de abastecimento são superiores aos tempos de solda.

Tabela 5.5: Tempos de solda com robô para os subgrupos CCM

Cabine CCM			
Descrição Peça	Tempo Op. Manual	Tempo Op. Robô	Abastecimento Robô
Assoalho	0:34:30	0:05:00	0:05:24
Lateral Direita	2:06:30	1:00:00	0:04:12
Lateral Esquerda	2:04:12	1:00:00	0:05:24
Paralama Direito	1:09:00	0:03:50	0:06:00
Paralama Esquerdo	1:09:00	0:02:13	0:03:00
Firewall	1:09:00	0:10:00	0:06:00
Longarina Direita	0:28:45	0:05:00	0:06:00
Longarina Esquerda	0:28:45	0:05:00	0:06:00
"S"Direito	0:23:00	0:02:30	0:03:00
"S"Esquerdo	0:23:00	0:02:30	0:03:00
Op. Fechamento 1	1:29:42	1:18:00	0:12:00
Op. Giratório 1	1:02:06	0:54:00	0:12:00
Op. Fechamento 2	0:44:51	0:39:00	0:12:00
Op. Giratório 2	1:02:06	0:54:00	0:09:00
Acabamento	0:46:00	0:39:00	0:08:24
Tempo Total	15:00:27	7:00:03	1:41:24
OEE 85% Robô	-	8:03:03	1:56:37
Tempo Total Robô	-	9:59:40	
Δ	5:00:47		

Com a diferença de tempo Δ entre as operações manuais e robotizadas da tabela 5.5, o custo da hora e os volumes de produção apresentados na tabela 2.6 é possível estimar o *saving* anual para produção das cabines CCM, apresentado na tabela 5.6.

Tabela 5.6: *Saving* para produção da cabine CCM.

Modelo	Tempo Atual (horas)	Tempo c/ Robô	Volume (Nov/15-Out/16)	Custo Hora	Saving
Cabine CCM	15	9,98	Valor Estimado	Valor Médio	R\$ 2.189.769,83

5.1.3 Custo x Benefício

Com os valores de *savings* levantados é possível realizar um cálculo de custo benefício da implementação das células robotizadas. Para isso, utiliza-se valores estimados do custo de aquisição das células, instalações, layout e ajuste ou compra de novos gabaritos de solda. Com estes valores é possível também levantar o tempo necessário para retorno do investi-

mento, ou um *Simple Pay Back* de acordo com os benefícios financeiros do novo sistema para a empresa. De acordo com [12] uma avaliação econômica permite comparar os benefícios da automação através da robótica com o sistema atual e demais alternativas. Esta análise se baseia na comparação dos custos de aquisição, adaptação do sistema e operação da instalação robotizada em questão, com os benefícios em caixa. Embora a análise de viabilidade econômica de um projeto de robotização seja similar ao de qualquer outro equipamento, é importante observar que existem algumas diferenças:

- robô pode substituir mão de obra humana;
- robô proporciona flexibilidade para atender às mudanças de mercado;
- robô força a reavaliação do processo produtivo;
- robô é reprogramável, dessa forma, essa flexibilidade proporciona uma longa vida útil dentro do sistema de produção

Estas diferenças de um projeto de robotização são na verdade vantagens sobre outros tipos de sistema uma vez que os itens citados acima trazem benefícios para a empresa porém são difíceis de mensurar quantitativamente.

Para analisar a viabilidade econômica do projeto, utilizou-se os valores de *savings* anuais como benefício, comparando-os com valores estimados de custo para implementação do projeto. Os custos do projeto levados em consideração incluem valores de aquisição das células, gabaritos de solda mais carrinhos para transporte dos mesmos, instalações das células e modificações de layouts como será mostrado em 5.2. Abaixo, nas tabelas 5.7 e 5.8 seguem os valores de custos estimados para implementação das células robotizadas.

Tabela 5.7: Relação Custo x Benefício da célula dos modelos APL e APH.

Custo x Benefício APH e APL	
Célula + Exaustão	R\$ 770.000,00
Dispositivos + Carrinhos	R\$ 552.000,00
Instalações/Relayout	R\$ 66.000,00
Custo Total	R\$ 1.388.000,00
Benefício	R\$ 1.614.685,51
B/C	1.163

Tabela 5.8: Relação Custo x Benefício da célula do modelo CCM.

Custo x Benefício CCM	
Célula + Exaustão	R\$ 550.000,00
Dispositivos + Carrinhos	R\$ 180.000,00
Instalações/Relayout	R\$ 80.000,00
Custo Total	R\$ 810.000,00
Benefício	R\$ 2.189.769,83
B/C	2.70

Observa-se que devido ao fato da célula responsável pelo modelo CCM possuir um custo de investimento mais baixo, uma maior redução de horas em relação as operações manuais e um grande volume de produção, a relação custo/benefício é superior à célula responsável pelas plataformas APH e APL. Calculando-se o inverso da relação custo/benefício obtém-se o tempo de retorno simples para o investimento de cada célula. Como o valor estimado do benefício é anual, o tempo de retorno também é um valor anual. Assim, o tempo de retorno simples para a célula APH e APL é de 0,86 anos e para a célula CCM é de 0,37 anos. Obviamente o tempo de retorno do investimento não pode ser obtido de forma tão simples, sendo necessário realizar uma análise mais profunda a partir de um estudo do LCC de cada célula.

5.2 Layout

Com a aprovação do projeto por parte da diretoria, começou-se a pensar no espaço para alocação das células robotizadas. Como dito em 2.1.1, as células de solda das plataformas e cabines encontram-se em locais distintos das fábricas. Com a robotização das células, planeja-se que as mesmas sejam alocadas em locais próximos e de preferência na área de solda, localizada na fábrica de colheitadeiras. A área para alocação das células robotizadas deve possuir a preparação adequada para suporte aos processos de solda. São necessários itens como acesso à rede de energia, à rede de gás que é utilizado para proteção da solda como descrito em 2.1.3, um sistema de exaustão para os fumos gerados pela solda, acesso à rede de ar comprimido para acionamentos pneumáticos assim como talhas e pontes rolantes para movimentação de peças e dispositivos.

As plataformas APL e APH passarão a ser soldadas em uma única célula, e as cabines CCM continuarão com uma célula exclusiva. Como citado acima, as células de solda necessitam de toda uma estrutura de suporte para as operações e como mencionado em 2.2, um problema gerado pelo layout atual das células é o contra-fluxo das plataformas e cabines quando são enviadas para a cabine de pintura da fábrica de componentes. Para solucionar este e outros problemas da empresa, a equipe responsável pela pintura desenvolveu, em paralelo ao projeto de robotização, um projeto de modificações da cabine de pintura da fábrica

de colheitadeiras, entre elas, um aumento de suas dimensões. Ao término deste projeto a reforma da cabine de pintura já estará finalizada, podendo comportar as plataformas e cabines das células robotizadas.

A área de solda da fábrica de colheitadeiras se mostrou o lugar ideal para alocação das células robotizadas, já que possui toda a estrutura necessária e está localizada logo ao lado da cabine de pintura da fábrica de colheitadeiras (figura 1.2) que passará a comportar os tamanhos das cabines e plataformas. Assim, os custos de instalação das células robotizadas serão minimizados uma vez que toda a estrutura de solda já está instalada. Os custos com transporte e movimentação das cabines para a pintura também serão reduzidos devido a proximidade da área de solda com o setor de pintura na fábrica de colheitadeiras. As figuras 5.2 e 5.3 mostram a alteração de layout para alocar as células robotizadas na área de solda, ressaltando que os modelos APL e APH, antes soldados em células diferentes, passarão a ser soldados na mesma célula.



Figura 5.2: Alteração do layout das células APL e APH.

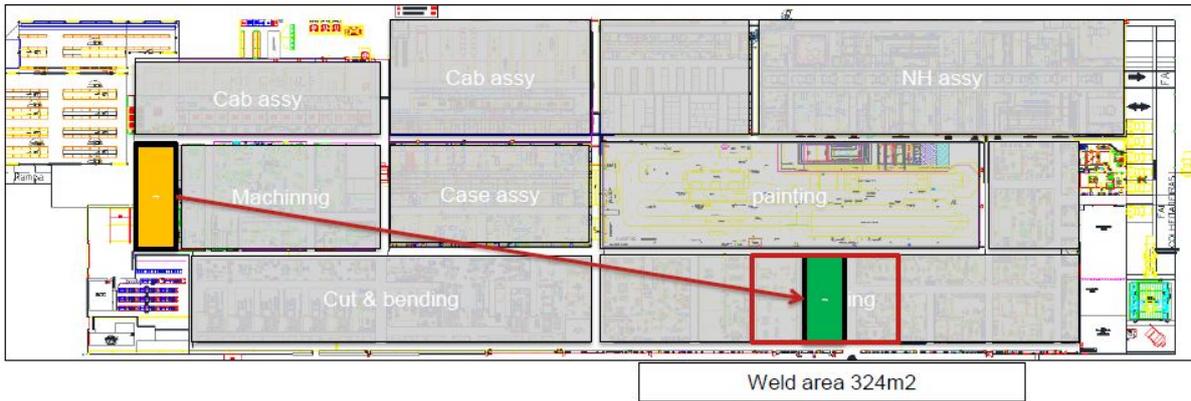


Figura 5.3: Alteração do layout da célula CCM.

Abaixo, na figura 5.4, é mostrado um esboço do layout no interior da célula robotizada que soldará as cabines CCM, com a indicação dos dispositivos que serão soldados pelo robô e os dispositivos que continuarão com as operações manuais.

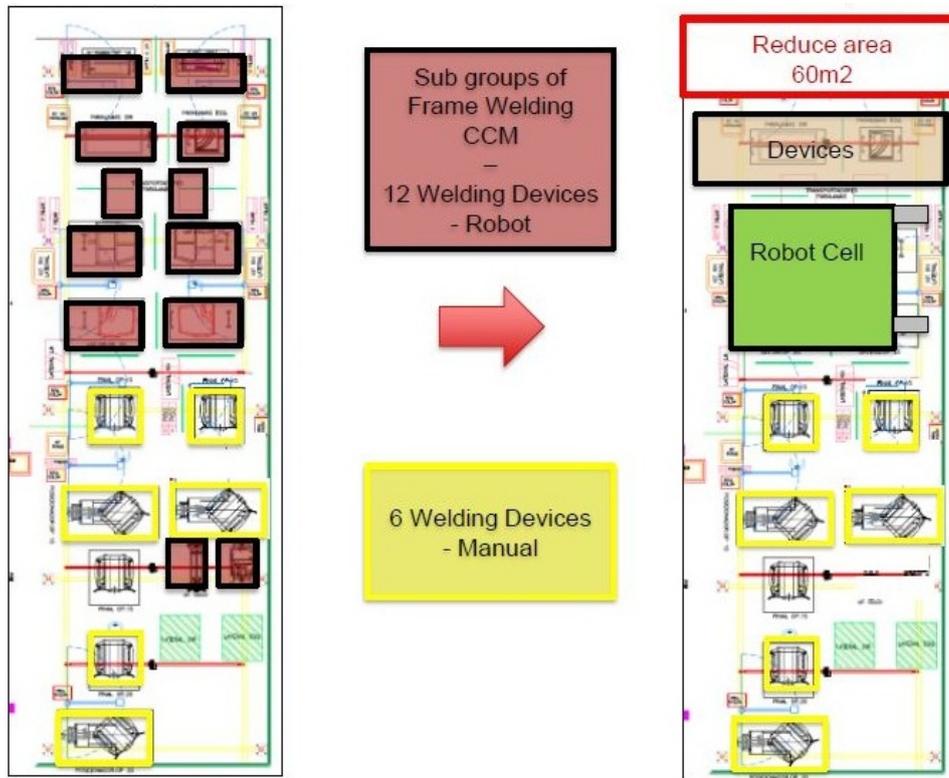


Figura 5.4: Layout no interior da célula CCM.

5.3 LCC

Para dar continuidade ao projeto, paralelamente às atividades de layout descritas em 5.2 foi realizado um estudo de *Life Cycle Costing* com o objetivo de levantar os possíveis fornecedores de células robotizadas existentes no mercado e escolher dentre esses o que oferece a solução com o menor custo de equipamento durante toda a vida útil. O estudo LCC foi realizado para a célula que irá soldar os subgrupos das plataformas APL e APH, que será a primeira a ser implementada.

De acordo com [9] o custo total de um projeto é composto do custo total de aquisição, custos totais de gerenciamento dos equipamentos (operação, suporte e manutenção) e custo total de depreciação. Ainda de acordo com [9], através do tempo, a maior parte dos custos de um sistema são provenientes do gerenciamento dos ativos e não dos custos de aquisição, como muitas vezes se pensa erroneamente. Portanto, ressalta-se a importância de projetar sistemas que minimizem o custo total do projeto além de somente o custo inicial. É importante notar também que a capacidade de influenciar o custo total do projeto é consideravelmente maior nas fases iniciais do projeto até a aquisição do equipamento e menor nas fases de gerenciamento.

5.3.1 Vida útil

A vida útil é o período no qual um ativo é totalmente depreciado e é frequentemente determinado por históricos de desempenhos anteriores. Portanto, a vida útil de um equipamento é o período no qual este contribui direta ou indiretamente para o futuro fluxo de caixa da empresa. Assim, o nível de manutenção, utilização de energia, e outros fatores necessários para manter a utilidade do equipamento influenciam na determinação de sua vida útil. A vida útil de um equipamento pode ou não coincidir com o período utilizado na análise LCC. Entretanto é essencial usar o mesmo período quando compara-se alternativas mutuamente exclusivas. [9]

5.3.2 Determinação do LCC

Para iniciar o estudo LCC, avaliou-se as opções de fornecedores de células de solda robotizadas disponíveis no mercado, entrando em contato com cada um para buscar informações iniciais. Ao todo, 4 fornecedores foram considerados. Com a definição dos requisitos do projeto, descritos no capítulo 4, elaborou-se um Memorial Descritivo (MD), documento padrão da empresa, de responsabilidade dos membros do projeto para fixação dos requisitos necessários para desenvolvimento do projeto. O MD funciona como uma forma de contrato para que os fornecedores possam cumprir com as especificações do projeto e respectivos prazos.

Após elaboração e revisão do Memorial Descritivo, o mesmo foi enviado a todos os fornecedores interessados em fornecer a solução à empresa. O MD contém informações técnicas, especificações, prazos, e condições relacionados ao projeto. A partir do MD os fornecedores enviaram as propostas técnicas contendo todos os itens a serem cumpridos do projeto. Baseado nas propostas técnicas foram realizadas as análises de LCC para cada fornecedor.

Como dito anteriormente, é essencial utilizar o mesmo período para análise de fornecedores mutuamente exclusivos. Assim o período adotado para a análise foi de 10 anos, baseando-se a todo momento nas propostas técnicas enviadas pelos fornecedores. Durante o estudo LCC, buscou-se analisar as propostas da forma mais igualitária possível, para se obter um resultado confiável, garantindo a segurança da decisão final.

Initial Costs

Para estruturar o estudo LCC, separou-se os custos em *Initial Costs* (IC) e *Running Costs* (RC), como visto em 3.6. Os itens considerados como Initial Costs são:

1. Investimento
2. Instalação
3. Setup & Programação
4. Treinamentos
5. Treinamento de manutenção
6. Testes & Aprovação
7. Administração de materiais & Transporte
8. Entrega

Os custos de cada item foram enviados pelos fornecedores e são apresentados na figura 5.5

		A	B	C	D
INITIAL COST					
Investment	R\$	692,895.00	873,110.00	369,421.00	387,000.00
Installation	R\$	92,039.00	136,050.00	52,304.00	59,987.00
Setup & Equipment Programming	R\$	213,484.00	274,568.00	93,207.00	97,243.00
Operator Training	R\$	58,500.00	50,700.00	15,439.00	11,420.00
Maintenance Training	R\$	58,500.00	16,900.00	2,824.00	1,260.00
System Testing & Acceptance	R\$	32,316.00	28,457.00	14,562.00	18,123.00
Material Management & Transportation	R\$	81,807.00	64,000.00	23,678.00	37,423.00
Delivery	R\$	226,864.00	295,715.00	161,173.00	172,744.00
TOTAL	R\$	1,456,405.00	1,739,500.00	732,608.00	785,200.00

Figura 5.5: *Initial costs* para cada fornecedor.

Running Costs

Os itens considerados como *Running Costs* são:

1. Atividades de manutenção profissional
2. Energia
3. Peças de reposição
4. Atividades de manutenção autônoma
5. Trabalho direto
6. Ferramental
7. Consumíveis
8. Perda de tempo por setup
9. Perda por sucata
10. Perdas de produção
11. Estoque
12. Manutenção não programada

O principal item que compõe o RC são as peças de reposição de toda a célula e do sistema robotizado. Para analisar estes itens, cada fornecedor enviou uma lista com as peças necessárias para o funcionamento do equipamento e seu respectivo custo e valores de MTBF e MTTR (3.7), assim como o custo da hora de manutenção. Os valores de MTBF foram fornecidos em dias e os de MTTR em horas. A partir dessas informações foi possível calcular os valores de RC para cada fornecedor. Como dito anteriormente, o período para análise do LCC foi de 10 anos. Para calcular o custo com as peças de reposição, avalia-se o MTBF de cada peça, verificando quantas vezes a peça deverá ser trocada em cada um dos 10 anos, multiplicando o número de trocas pelo valor da peça. Aplica-se o mesmo cálculo para todas as peças de reposição, somando os custos de troca para cada ano. O mesmo é realizado para calcular o custo com horas de manutenção, ou seja, para cada ano calcula-se a quantidade de trocas realizadas pra cada peça baseado no valor de MTBF e então multiplica-se pelo valor de MTTR e então pelo custo da hora de manutenção do fornecedor. Depois soma-se os custos de hora de manutenção de todas as peças para cada ano. Ao final obtém-se o total gasto com reposição de peças separados em custo das peças e custo de horas para manutenção ao longo dos 10 anos. Na figura 5.6 são apresentados esses custos para cada fornecedor.

	Fornecedor A		Fornecedor B		Fornecedor C		Fornecedor D	
Hora Manutenção	R\$ 446.80		R\$ 422.50		R\$ 347.00		R\$ 285.50	
Ano	Custo Peças	Custo Horas	Custo Peças	Custo Horas	Custo Peças	Custo Horas	Custo Peças	Custo Horas
1	R\$282.73	R\$223.40	R\$ 5,900.00	R\$ 1,267.50	R\$ 6,544.06	R\$ 2,776.00	R\$ -	R\$ -
2	R\$13,046.49	R\$10,425.33	R\$ 11,800.00	R\$ 2,535.00	R\$ 13,145.52	R\$ 6,246.00	R\$ 3,434.02	R\$ 285.50
3	R\$13,329.22	R\$10,648.73	R\$ 24,260.00	R\$ 5,492.50	R\$ 22,653.85	R\$ 10,063.00	R\$ 19,996.35	R\$ 3,568.75
4	R\$26,092.99	R\$20,850.67	R\$ 30,160.00	R\$ 6,760.00	R\$ 29,255.32	R\$ 13,533.00	R\$ 16,562.33	R\$ 3,854.25
5	R\$86,537.30	R\$33,286.60	R\$ 59,243.84	R\$ 27,439.97	R\$ 47,102.08	R\$ 23,596.00	R\$ 75,057.67	R\$ 8,993.25
6	R\$99,301.06	R\$43,488.53	R\$ 65,143.84	R\$ 28,707.47	R\$ 56,196.08	R\$ 28,107.00	R\$ 95,327.58	R\$ 10,563.50
7	R\$99,583.79	R\$43,711.93	R\$ 151,258.84	R\$ 38,424.97	R\$ 62,740.13	R\$ 30,883.00	R\$ 99,557.66	R\$ 13,704.00
8	R\$112,347.56	R\$53,913.87	R\$ 157,818.84	R\$ 40,114.97	R\$ 72,305.88	R\$ 35,394.00	R\$ 115,323.93	R\$ 14,132.25
9	R\$112,630.29	R\$54,137.27	R\$ 169,618.84	R\$ 42,649.97	R\$ 78,849.93	R\$ 38,170.00	R\$ 119,554.01	R\$ 17,272.75
10	R\$498,825.24	R\$86,753.67	R\$ 208,451.47	R\$ 71,343.35	R\$ 189,505.02	R\$ 59,684.00	R\$ 174,377.07	R\$ 20,698.75
TOTAL	R\$1,061,976.67	R\$357,440.00	R\$883,655.69	R\$264,735.68	R\$ 578,297.86	R\$ 248,452.00	R\$ 719,190.62	R\$ 93,073.00
Média / ano	R\$ 106,197.67	R\$ 35,744.00	R\$ 88,365.57	R\$ 26,473.57	R\$ 57,829.79	R\$ 24,845.20	R\$ 71,919.06	R\$ 9,307.30

Figura 5.6: Custos com MTBF e MTTR por fornecedor.

Com estes custos de peças de reposição e horas de manutenção, é possível o cálculo do RC. A figura 5.7 apresenta os valores de RC para cada fornecedor. Nota-se que os valores calculados acima baseados no MTBF e MTTR estão evidenciados na figura.

		A	B	C	D
RUNNING COST					
Professional Maintenance Labor	R\$/year	35,744.00	26,473.57	24,845.20	9,307.30
Energy	R\$/year	56,891.33	92,229.54	71,948.37	76,280.88
Spare parts	R\$/year	106,197.67	88,365.57	57,829.79	71,919.06
Autonomous Maintenance Labor	R\$/year	2,376.00	2,376.00	2,376.00	2,376.00
Direct Labor	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Tooling	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Consumable Materials	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Setup Time Loss	R\$/year	11,385.00	11,385.00	11,385.00	11,385.00
Scrap Loss	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Production Losses	R\$/year	3,663.00	3,118.50	3,069.00	1,584.00
Stock	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Unplanned Maintenance	R\$/year	3,574.40	3,380.00	2,776.00	2,284.00
Modifications of Equipment	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Downtime	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
Fixed Costs	R\$/year	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	R\$/year	219,831.40	227,328.18	174,229.36	175,136.24

Figura 5.7: Running costs para cada fornecedor.

Com o IC e RC calculado é possível realizar o cálculo total de LCC para os quatro fornecedores. Para obter o valor final, calcula-se um desconto referente à depreciação do equipamento. Para calcular esse valor de depreciação, aplica-se um desconto de 20% sobre o valor de investimento (item 1 de IC). Este valor de investimento é o valor real do equipamento, excluindo valores de instalações, setups e outros, que não depreciam juntamente com o equipamento. Assim, o valor de LCC para cada fornecedor é composto do valor de IC, o valor de RC multiplicado pelo período de análise, que neste caso são 10 anos e subtrai-se o valor por depreciação do equipamento. Na figura 5.8 são apresentados os valores de LCC para os quatro fornecedores estudados.

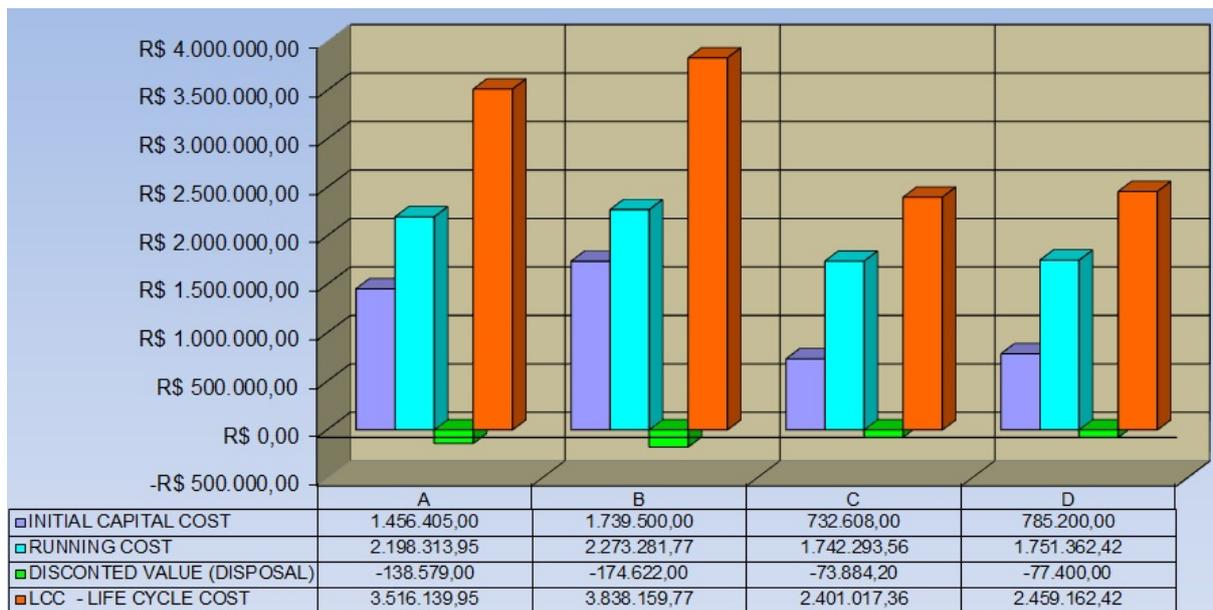


Figura 5.8: Valores de LCC para cada fornecedor.

Uma análise LCC bem implementada ajuda de forma significativa na escolha do fornecedor para implementação do projeto, porém não é o único fator determinante. O resultado da análise serve mais como uma orientação, que juntamente com outras informações, fornecerá uma base para tomada de decisão consciente e segura.

O estudo LCC foi realizado primeiramente para a célula responsável pela solda das plataformas APL e APH, pois serão as primeiras a serem implementadas. A análise para a célula de solda das cabines CCM, entretanto, será realizada nos mesmos padrões, uma vez que as duas células são muito semelhantes nos aspectos técnicos. A ideia é utilizar o mesmo fornecedor para as duas células, facilitando assim aspectos de transação comercial, padronização de equipamentos, melhor aproveitamento de pessoal, treinamentos, entre outros.

5.4 Gabaritos de solda

Como descrito em 2.1.2 os gabaritos de solda são dispositivos que auxiliam na fixação das peças na posição correta de soldagem, garantindo a geometria do subconjunto final. Os gabaritos possuem grampos que realizam a fixação das peças para correta posição das juntas a serem soldadas. Esses grampos podem ser manuais ou acionados pneumáticamente. Além dos gabaritos para solda dos subconjuntos, cada célula conta com dispositivos para o fechamento das plataformas e cabines, além de dispositivos giratório, que têm como função auxiliar a solda de pontos com maior dificuldade de acesso.

Atualmente as células responsáveis pela solda do APL e APH contém 5 dispositivos, cada. Já a célula de solda das cabines CCM conta com 18 dispositivos de solda, sendo que 3 são dispositivos giratórios e 3 são dispositivos de fechamento. Desses 6 dispositivos, 4 são duplicados para evitar um gargalo de produção identificado fora do escopo deste projeto.

Com a robotização das células, torna-se necessário a adequação desses dispositivos para posicionarem as peças para serem soldadas pelo robô. A adequação inclui tornar os dispositivos portáteis, para que possam ser facilmente ajustados nas mesas dos posicionadores da célula. Devem possuir um ponto de referência, o qual o robô possa utilizar para localização das juntas a serem soldadas. Deve-se realizar a verificação se os grampos de fixação não interferem no acesso do robô aos pontos de solda, e caso interferirem, deve ser realizada a modificação dos mesmos. Como uma das células será responsável pela solda dos modelos APL e APH, esta possuirá 9 gabaritos de solda, provenientes das células que hoje são separadas, sendo que um gabarito é responsável pelo fechamento da plataforma APH e continuará sendo soldado manualmente. A célula robotizada para a cabine CCM possuirá 12 gabaritos com peças soldadas pelo robô. Os outros 6 dispositivos continuarão sendo soldados manualmente.

5.5 Demonstração do Robô

Durante o desenvolvimento do projeto, um dos fornecedores disponibilizou um robô de solda para ficar na empresa durante uma semana para testes e observações, assim como, apresentação do sistema robotizado à diretoria da empresa. Com o equipamento dentro da fábrica, foi possível observar o mesmo em funcionamento, programando-o para soldar peças que serão soldadas futuramente pela célula robotizada. Com o robô pôde-se observar itens como a qualidade da solda, velocidade de locomoção entre uma junta e outra, reduzindo o NVAA para solda a peça completa. Também foi observado a parte de sensoriamento do robô (4.4) para correção de pequenas variações dimensionais, solda de junto com variação do ângulo da tocha e outros itens. No geral, o robô de solda apresentado agradou os membros do projeto, mostrando as possibilidades e alternativas que poderão ser utilizadas na célula robotizada.

5.6 Automação da célula

Além do sistema robotizado, uma preocupação do projeto é a automação da célula de soldagem. O objetivo da automação é sempre tentar reduzir o NVAA da célula e evitar a ociosidade do sistema, como citado no capítulo 4. Além de reduzir o NVAA e tempos de setup, a automação também foi pensada para aumentar a flexibilidade das células robotizadas, aumentar a qualidade e a produtividade dos processos e por fim, eliminar problemas de saúde e segurança dos operadores envolvidos.

A automação da célula se divide em 3 partes. A primeira corresponde a automação do sistema robotizado, que possui sensores de toque e de corrente para reconhecimento das juntas de solda assim como correções dos parâmetros de acordo com a geometria das peças.

A segunda parte da automação diz respeito ao travamento dos grampos de fixação das peças nos gabaritos de solda. O robô só poderá iniciar as operações de solda quando todos os grampos estiverem devidamente fechados. Esse sensoriamento dos grampos terá como objetivo tanto a qualidade, pois o travamento dos grampos ajuda a garantir a geometria das peças e corretas posições de soldagem, quanto a segurança dos operadores e do sistema. Para o travamento dos grampos serão utilizados sensores indutivos que detectam a presença dos grampos, sendo acionados quando os mesmos estiverem completamente travados, enviando o sinal ao controlador do robô, para que este possa iniciar a operação. Na figura 5.9 pode-se observar os tipos de sensores indutivos utilizados para esta aplicação.



Figura 5.9: Sensores indutivos para detecção de grampos.

A terceira parte da automação corresponde ao reconhecimento dos gabaritos de solda e as peças a serem soldadas. Para isso, será utilizada tecnologia de identificação por radio-frequência ou RFID. Com o RFID, os objetos podem ser identificados e rastreados automaticamente. Para isto, no objeto a ser identificado é montado um TAG, que funciona como memória de dados. Estes dados são transmitidos de modo indutivo e sem contato entre o processador e cabeça de leitura/escrita. Sensores de leitura serão fixos em local que permita a leitura dos TAGS nos gabaritos, realizando a identificação das peças posicionadas para solda. Então o sinal é retransmitido pela cabeça de leitura/escrita, através do processador ao sistema de comando. O sinal então é enviado para o controlador do robô que inicia a operação de solda automaticamente. Dessa forma reduz-se o tempo de setup das peças, contribuindo para a

produtividade da célula. Na figura 5.10 é mostrado o sensor de leitura (esquerda) e o TAG com memória de dados contendo a identificação de cada peça (direita).



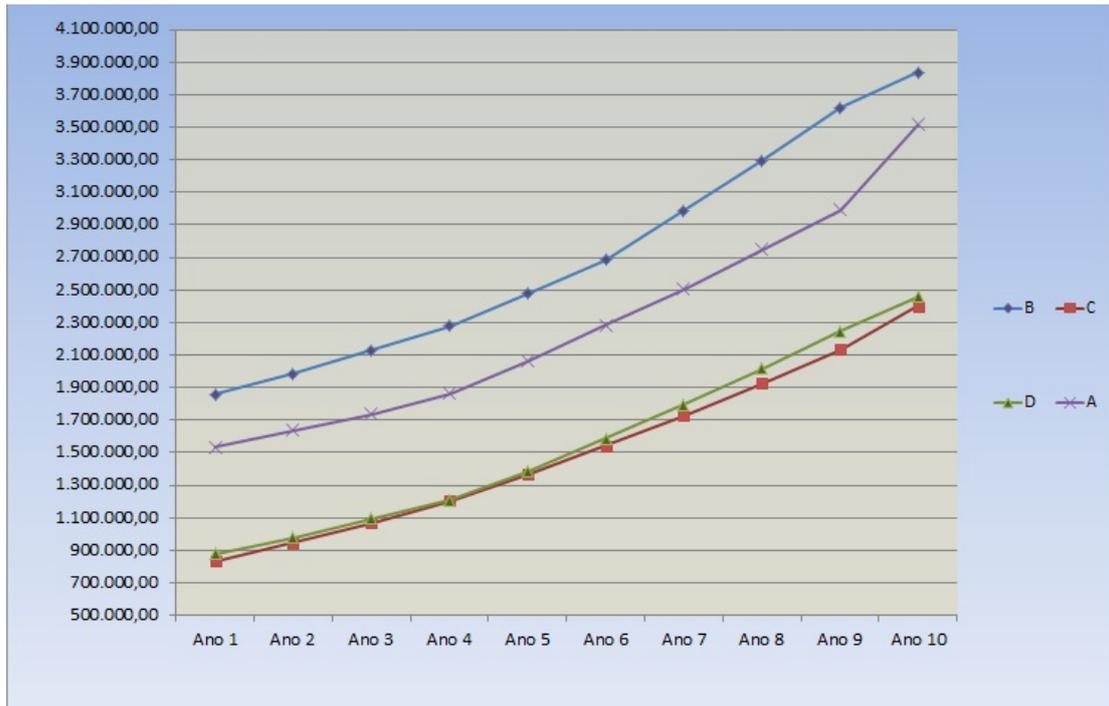
Figura 5.10: Modelo de cabeça de leitura de dados e TAG RFID.

Capítulo 6

Resultados Obtidos

Apesar das células robotizadas ainda não terem sido implementadas na empresa, alguns resultados já podem ser destacados nessas fases iniciais de desenvolvimento. Inicialmente, com o conceito de carga frontal descrito em 3.2 tem-se a segurança de que a maioria dos problemas que poderiam ocorrer já foram antecipadamente solucionados e inclusos no projeto e implementação das células. As demais ferramentas do WCM também foram imprescindíveis para um desenvolvimento eficiente do projeto.

Entre as ferramentas do WCM citadas, a principal foi o estudo LCC realizado para auxiliar na escolha do fornecedor. Ao se levantar todas as possíveis alternativas e analisá-las simultaneamente com os parâmetros sendo aplicados igualmente a todos os fornecedores tornou-se nítido as diferenças de custos de cada alternativa assim como os benefícios de cada uma. Além dos valores iniciais e finais de cada fornecedor, foi possível ter um panorama dos custos envolvidos em cada solução num período de 10 anos, garantindo-se uma economia não só na aquisição mas também durante toda vida útil do equipamento. Na figura 6.1 é apresentado o gráfico comparando a evolução do LCC de cada fornecedor. Observa-se que os fornecedores C e D possuem custos consideravelmente menores que os fornecedores A e B, e a diferença entre aqueles é pequena a ponto se escolher o fornecedor D caso este apresente alguma vantagem na proposta técnica.



		Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Fornecedor	A	1.534.800,86	1.636.162,41	1.738.030,10	1.862.863,48	2.060.577,11	2.281.256,43	2.502.441,89	2.746.593,04	2.991.250,32	3.516.139,95
Fornecedor	B	1.859.156,54	1.985.980,58	2.128.222,12	2.277.631,16	2.476.804,01	2.683.144,36	2.985.317,21	3.295.740,06	3.620.497,92	3.838.159,77
Fornecedor	C	833.482,43	944.428,32	1.068.699,54	1.203.042,23	1.365.294,67	1.541.152,12	1.726.329,62	1.925.583,87	2.134.158,17	2.401.017,36
Fornecedor	D	879.109,88	976.739,28	1.094.214,26	1.208.540,72	1.386.501,52	1.586.302,48	1.793.474,02	2.016.840,08	2.247.576,72	2.459.162,42

Figura 6.1: Evolução do LCC para cada fornecedor.

Um estudo detalhado do layout para alocação das células também forneceu resultados positivos. O fato da fábrica de colheitadeiras já possuir uma área de solda com toda a estrutura necessária para a soldagem ao arco elétrico com gás de proteção (MIG) facilitou na decisão de escolha do local. A cooperação entre a equipe deste projeto com a equipe responsável pelo setor de pintura também foi positiva. Através dessa cooperação foi possível identificar a necessidade da reforma da cabine de pintura, possibilitando que a mesma comporte as cabines e plataformas, eliminando todo o NVAA gerado pelo transporte dessas até a fábrica de componentes, como citado em 2.2.

A redução dos tempos de solda das plataformas e cabines, que é o objetivo principal deste projeto, ainda não pôde ser comprovada. São resultados que poderão ser comprovados a partir do momento em que as células entrarem em fase de fluxo de produção. Porém, os valores de redução apresentados em 5.1 são esperados devido à redução dos altos valores de NVAA apresentados atualmente. São esperados aproximadamente 5,32 horas de redução para produzir cada plataforma APH, 1,8 horas para cada plataforma APL/TL, 1,75 horas para cada plataforma APL/Farmall e 5 horas para cada cabine CCM. Uma vez que as velocidades de solda do robô não podem ser muito superiores à solda manual, essa diferença corresponde principalmente aos tempos de locomoção dos operadores para soldar todos os subconjuntos e

movimentação e setup das peças. Com o sistema robotizado estes tempos de movimentação e setup reduzem drasticamente, e o tempo total do processo se aproxima dos tempos efetivos de solda, tornando as células mais eficientes e com baixos valores de NVAA. Essas diferenças de tempo somadas ao alto volume de produção das plataformas e cabines resultam nos *savings* esperados como resultado de implementação deste projeto.

Por último, outro resultado esperado que pôde ser observado pelos membros do projeto é o aumento da qualidade da solda proporcionado por um sistema robotizado, como citado em 5.5. Com o robô espera-se que as soldas possuam uma qualidade superior e principalmente que as variações dimensionais das plataformas e cabines diminuam. Aumentando assim, a qualidade das plataformas e cabines fornecidas para as linhas de montagem, e consequentemente a qualidade do produto final. Na figura 6.2 é apresentada parte de uma junta soldada pelo robô e o robô utilizado para teste.



Figura 6.2: Junta soldada com robô (esquerda) e robô utilizado para teste (direita).

Capítulo 7

Conclusões e Perspectivas

Neste projeto de conclusão de curso foram desenvolvidas atividades referentes à tecnologias de manufatura. Com o desenvolvimento do projeto de células robotizadas, foram vistos vários conceitos de sistemas de manufatura, desde layout de células flexíveis, tempos de processo (*lead time*), custos de produção, perdas com NVAA, tempos de setup, entre outros. Além destes conceitos de manufatura, também foram desenvolvidos conceitos de gerenciamento de projetos. Dentro do desenvolvimento, foram realizadas várias reuniões com as mais diferentes equipes dentro do setor de manufatura, a fim de integrar todos dentro do projeto de robotização, levando em conta as necessidades e benefícios de cada setor da fábrica, como logística, segurança e qualidade. O trabalho desenvolvido até então resultou em um sólido estudo LCC, permitindo uma melhor orientação para tomada de decisão, assim como todos os outros requisitos do projeto, deixando praticamente tudo encaminhado para a fase de construção das células robotizadas. Todos os aspectos levantados nas fases iniciais do projeto irão contribuir para uma redução de tempos e custos para o futuro, seja no momento do startup dos equipamentos, durante a fase de fluxo de produção ou nas atividades de manutenção.

Como perspectivas para o futuro do projeto, pode-se destacar primeiramente um aumento da produtividade, já perceptível no momento de início da produção das células robotizadas. A automação contínua das células também é um item a ser explorado, sempre buscando a redução de valores de NVAA, tornando as células de solda sempre mais eficientes e dentro do padrão *lean manufacturing*. Com esta automação torna-se possível um melhor controle e padronização dos processos, facilitando o controle de estoque de peças na entrada e saída das células robotizadas. Isto possibilita uma futura implementação de um sistema kanban para logística das células com o objetivo de operar sob um sistema *Just in Time*.

A robotização dessas duas células de solda é apenas o início do plano de automação de toda a área de solda da empresa, que como dito anteriormente, é toda composta de células manuais. Com este projeto, desenvolveu-se o conhecimento e a metodologia para desenvolvimento de projetos futuros de automação e robotização. Desta forma, o *lead time* para desenvolvimento destes projetos tende a ser menor, uma vez que a equipe já conhece as ferramentas e problemas que possam surgir no caminho. Como exemplo, pode-se citar o levantamento dos tempos de produção, estimativa dos *savings* do projeto, levantamento de

fornecedores e a análise LCC.

Por fim, este projeto foi de grande importância para a empresa, por estar iniciando de forma sólida e segura a robotização de toda sua área de solda, e desenvolvendo o conhecimento necessário para evoluir neste sentido. E também para o aluno, que teve a oportunidade de acompanhar o projeto desde o início, tendo contato com conceitos fundamentais de sistemas de manufatura e de gerenciamento de projetos.

Bibliografia

- [1] Como calcular o oee. <http://www.prodwin.com.br/blog/como-calcular-o-oe/>. Acessado em 10/07/2015.
- [2] Computerized manufacturing automation: Employment, education, and the workplace.
- [3] Implementação da gestão preventiva dos equipamentos. http://http://www.leanwcm.com.br/workshops/wcm/wcm_implementacao_gestao_preventiva_eqpts.html. acessado em 09/07/2015.
- [4] Overview: What is life cycle costing. <http://simple.werf.org/simple/media/LCCT/index.html>. Acessado em 10/07/2015.
- [5] Wcm – world class manufacturing technical pillars overview. <http://doc.mbalib.com/view/8f46580b127f77512aab8c998a1ebfa9.html>. Acessado em 06/07/2015.
- [6] Cnh industrial annual report. http://www.cnhindustrial.com/en-US/investor_relations/financial_information/annual_reports/FiatDocuments/CNHI_2013_Annual_Report.pdf, 2013. acessado em 06/07/2015.
- [7] D. Palmeri A. Barcellona M. Bruccoleri, C. D’Onofrio and R. Riccobono. Improving of the productivity and the quality of a manufacturing robotized cell for mig/mag welding.
- [8] Alexandre Queiroz Bracarense Teodiano Freire Bastos and Wagner Gomes Rogana Ivanilza Felizardo Filho. Soldagem robotizada.
- [9] Byron A. Ellis. Life cycle cost. 2007.
- [10] Fabio De Felice, Antonella Petrillo, and Stanislao Monfreda. Improving operations performance with world class manufacturing technique: A case in automotive industry. 2013.
- [11] Cleber Fortes. *Apostila de soldagem MIG/MAG*, 2005.
- [12] Oswaldo Horikawa, Newton Maruyama, Diolino José dos Santos Filho, and Paulo Eigi Miyagi. Seleção de robôs: Alguns aspectos.
- [13] Anand Gurumurthy Rambabu Kodali. Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22, 2011.

[14] Tokutaro Suzuki. *TPM in Process Industries*. 1994.

[15] Wendy Torell and Victor Avelar. Mean time between failures: Explanation and standards. 2004.

[16] Dr. Hajime Yamashina. Early equipment management.