

# **Automação e robotização de uma célula de produção de rotores de motores elétricos**

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

***Guilherme Silva Fontes***

Florianópolis, outubro de 2015

# **Automação e robotização de uma célula de produção de rotores de motores elétricos**

***Guilherme Silva Fontes***

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. Max Hering de Queiroz***

---

Assinatura do Orientador

Banca Examinadora:

Wilson Ricardo Pereira  
*Orientador na Empresa*

Prof. Max Hering de Queiroz  
*Orientador no Curso*

Stefano Antonioli  
*Orientador na Empresa*

João Carlos Espíndola Ferreira  
*Avaliador*

Everton Machado  
Lucas Narciso Gobetti  
*Debatedores*



## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à WEG por proporcionar a oportunidade não somente de realização de meu Projeto de Fim de Curso na empresa, mas também por todo o aprendizado adquirido durante os meses que passei na empresa. Agradeço a confiança depositada em meu trabalho e a liberdade de criação que tive durante esse processo.

Agradeço minha família, amigos da WEG, amigos e colegas de UFSC e a minha namorada. Essas pessoas foram fundamentais para meu crescimento e equilíbrio durante meu PFC.

Por último, porém não menos importante: agradeço ao Departamento de Automação e Sistemas, aos professores com quem tive contato durante esses seis anos, que contribuíram de forma singular no meu aprendizado técnico, pessoal e profissional, em especial ao meu orientador, o professor Max Hering de Queiroz, por me orientar tanto em meu estágio obrigatório, quanto em meu PFC, e ter contribuído pelo aumento da minha paixão pela automação dentro e fora da sala de aula.



## Resumo

Fundada em 1961 a WEG é uma empresa multinacional brasileira que atua no desenvolvimento e fabricação de motores elétricos, equipamentos de automação, transmissão e distribuição de energia, tintas, entre outros. Atualmente a WEG figura entre os maiores fabricantes de motores elétricos do mundo, tendo seu maior parque fabril situado na cidade de Jaraguá do Sul - SC. A gama de motores elétricos produzidos pela empresa varia desde pequenos motores utilizados em máquinas de lavar roupa, até motores utilizados na indústria de petróleo e gás e aerogeradores, que impressionam pelo tamanho e potência que podem atingir.

O objetivo do projeto em questão é a redução de problemas ergonômicos, riscos de acidentes, redução de custos, melhoria de produtividade e de qualidade das peças produzidas na célula estudada. A célula em questão é responsável pela prensagem do eixo no rotor, verificação de batimento, usinagem do diâmetro externo, medição e ajuste de balanceamento do rotor. Para que os objetivos fossem atingidos foi proposta a automação e robotização da célula.

O projeto abrange a definição de um novo layout para a célula, definição de equipamentos necessários, estudo ergonômico, estudo do potencial de melhoria de qualidade e produtividade, além da relação custo-benefício do projeto. Foram utilizados softwares para simulação do ambiente robotizado e simulação de fluxo produtivo: RobotStudio e Plant Simulation respectivamente.

Através do RobotStudio conseguiu-se definir o novo layout, os tempos do sistema robótico, métodos e análise da melhoria qualitativa da ergonomia e segurança da célula, já com o Plant Simulation foi possível validar o sistema proposto e avaliar possíveis melhorias complementares que resultariam em diminuição de custos e aumento de produtividade.





## **Abstract**

The objective of this project is to reduce the ergonomics problems, the risk of accidents, the costs, improve the productivity and the quality of the materials that are produced in the studied cell. This cell is responsible of pressing the spindle in the rotor, unbalance verification and adjustment, rotor machining, warp measurement. To achieve the goals of the project, the automation and robotization were the best solution proposed by the company.

The project is concerned with layout design, choose of equipment, production and robot simulations and analysis of the budget.

It was used simulation softwares like RobotStudio - ABB and Plant Simulation – Siemens for the robot simulation and process simulation.

With the RobotStudio we did define the layout, the new methods, times, and the ergonomics and safety factors of the new production cell. The Plant Simulation software was used to validate the system by the eyes of productivity and percentage of use of equipments and workers.

# Sumário

<b>Capítulo 1: Introdução .....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 2: Empresa, processos e motivação .....</b>	<b>14</b>
2.1: Sobre a WEG .....	14
2.2: Célula de produção de rotores completos.....	15
2.3: Motivação .....	18
2.3.1: Problemas Ergonômicos .....	18
2.3.2: Segurança .....	19
2.3.3: Qualidade .....	20
2.3.4: Redução de custos.....	20
<b>Capítulo 3: Conceitos e ferramentas .....</b>	<b>22</b>
3.1: Automação de processos industriais.....	22
3.2: Robôs .....	22
3.3: Simulação de Sistemas Robóticos.....	23
3.4: Simulação do sistema produtivo.....	24
<b>Capítulo 4: Projeto e modelagem da célula automatizada.....</b>	<b>26</b>
4.1: Prensa automática.....	26
4.2: Projeto global da célula .....	28
4.2.1: Definição de máquinas e layout.....	28
4.2.2: Definição de tempos e simulação robótica.....	33
<b>Capítulo 5: Validação do novo sistema produtivo.....</b>	<b>35</b>
5.1: Simulação produtiva .....	35
5.1.1: Modelagem do layout e parte gráfica do sistema.....	36
5.1.2: Modelagem das operações e movimentações.....	38
5.1.3: Determinação dos tempos das operações para simulação .....	38
<b>Capítulo 6: Resultados e análises das simulações da célula atual e proposta. 42</b>	<b>42</b>
6.1: Análise de produtividade .....	42
6.2: Análise das taxas de ocupação dos operadores e máquinas .....	43
<b>Capítulo 7: Uma nova proposta .....</b>	<b>46</b>
7.1: Definição do novo layout .....	46
7.2: Novos métodos.....	48
7.3: Simulações do novo sistema.....	50
7.3.1: Modelagem do layout e parte gráfica do sistema.....	50
7.3.2: Simulação do sistema robotizado.....	51
7.3.3: Determinação dos tempos das operações para simulação .....	52
7.4: Resultados e análises da simulação da segunda proposta .....	53

7.4.1: Análise de produtividade .....	53
7.4.2: Análise das taxas de ocupação de operadores e máquinas da Proposta II .....	54
<b>Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas.....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografia: .....</b>	<b>58</b>
<b>Apêndice A.....</b>	<b>59</b>
<b>Apêndice B .....</b>	<b>61</b>
<b>Apêndice C .....</b>	<b>61</b>

## Lista de Figuras

<i>Figura 1: Layout da célula produtiva atual.....</i>	16
<i>Figura 2: Layout da célula atual com descrição do fluxo de materiais.....</i>	17
<i>Figura 3: Exemplo robô de manipulação industrial .....</i>	23
<i>Figura 4: Prensa automática servo-acionada.....</i>	27
<i>Figura 5: Vista superior do layout (Proposta I).....</i>	30
<i>Figura 6: Vista em perspectiva layout (Proposta I) .....</i>	30
<i>Figura 7: Layout Proposta I com indicação de fluxo de materiais.....</i>	33
<i>Figura 8: Simulação Plant Simulation da célula atual.....</i>	36
<i>Figura 9: Simulação Plant Simulation do centro de trabalho robotizado (Proposta I) ....</i>	37
<i>Figura 10: Resultados do Plant Simulation - 1 dia de produção .....</i>	43
<i>Figura 11: Vista superior layout Proposta II .....</i>	46
<i>Figura 12: Vista em perspectiva do layout Proposta II.....</i>	47
<i>Figura 13: Layout Proposta II com indicações de fluxo de materiais .....</i>	50
<i>Figura 14: Simulação Plant Simulation Proposta II .....</i>	51

## Lista de Gráficos

<i>Gráfico 1: Taxa de Ocupação C.T. Atual (Não Robotizado) .....</i>	44
<i>Gráfico 2: Taxa de Ocupação C.T (Proposta I).....</i>	44
<i>Gráfico 3: Taxa de ocupação C.T. Robotizado com 1 CNC (Proposta II).....</i>	54
<i>Gráfico 4: Comparativo das Taxas de Ocupação dos CNC entre as propostas.....</i>	55
<i>Gráfico 5: Comparativo entre Taxas de Ocupação dos operadores de endireitamento</i>	56

## **Simbologia**

PFC - Projeto de Fim de Curso

RC – Rotor Completo

CNC – Comando numérico computadorizado

C.T. – Centro de Trabalho

## Capítulo 1: Introdução

O Projeto de Fim de Curso aqui abordado visa melhorar uma célula de produção de rotores da WEG – Motores Elétricos. Foram realizadas propostas para melhoria da célula em diversos âmbitos, dentre eles a ergonomia, segurança, produtividade e qualidade das peças ali produzidas.

Seguindo uma tendência mundial das grandes indústrias de manufatura, a WEG começa a automatizar em maior escala a sua linha de produção, buscando cada vez maior qualidade, produtividade, menor custo e conseqüentemente competitividade num mercado cada vez mais voraz.

Como será abordado nos capítulos subsequentes, a abordagem de melhoria escolhida para os problemas acima listados é a automação e robotização da célula. Porém, como garantir que essa automação cumprirá seu papel e não acabará sendo somente um gasto que não terá o retorno esperado? Para responder a essa pergunta, e “vender” a ideia aos gestores da empresa com uma base mais sólida, o projeto aqui elaborado visa não somente definir os métodos, layouts e máquinas a serem utilizados, mas também avaliar através de simulações realísticas se o funcionamento da célula a ser implementada será compatível com as expectativas.

O Capítulo 2 abordará a empresa onde foi realizado o PFC, o funcionamento atual da célula de estudo e a motivação do projeto. O Capítulo 3 destina-se a descrição dos conceitos e ferramentas necessárias para o entendimento do PFC. No Capítulo 4 vemos como foram realizados o projeto e a modelagem da proposta criada no ambiente de simulação de célula robotizada. A elaboração da simulação produtiva é vista no Capítulo 5. No Capítulo 6 são apresentados os resultados e é realizada a análise dos dados. O Capítulo 7 destina-se a discutir a nova proposta baseada nos resultados obtidos no Capítulo 6. Finalmente no Capítulo 8 são feitas as conclusões sobre o projeto e as perspectivas futuras para ele.

## **Capítulo 2: Empresa, processos e motivação**

### **2.1: Sobre a WEG**

Com unidades fabris e escritórios em países como Brasil, Argentina, Estados Unidos, Reino Unido, China, Alemanha entre outros, a WEG é uma empresa brasileira que se destaca mundialmente na fabricação de motores elétricos que variam desde as aplicações domésticas até industriais de grande porte. Hoje em dia, a WEG não atua somente no setor de motores, mas também desenvolve e fabrica soluções completas para automação, transmissão e distribuição de energia, tintas, turbinas e aerogeradores, entre outros. Atualmente a WEG possui ações negociadas no mercado financeiro, onde no último ano recebeu o prêmio de melhor empresa brasileira, devido ao seu bom desempenho mundial, sua visão expansionista e à sua saúde financeira.

A WEG não apenas desenvolve seus motores, mas também os fabrica em diversas plantas espalhadas pelo mundo, e é nesse contexto industrial de fabricação que esse projeto é inserido, mais especificamente na seção de usinagem de eixos e produção de rotores completos.

O PFC foi realizado no departamento de Engenharia Industrial da WEG. Este departamento é responsável por propor ações para reduzir a variabilidade dos processos de fabricação, capacitar/atualizar tecnicamente as unidades fabris, determinar tempos de fabricação, especificações operacionais, avaliar custos, etc.

O departamento de engenharia industrial é responsável por analisar as novas tecnologias disponíveis, verificar sua aplicabilidade e avaliar os impactos de modificação dos processos, não sendo responsável pela construção dos equipamentos, nem mesmo pela aplicação técnica deles, como configurar, programar, montar, etc. O procedimento comumente utilizado é o estudo e avaliação da tecnologia a ser empregada e caso haja viabilidade de implementação é feita uma contratação de uma empresa terceirizada para realização da parte técnica, ou é acionado o departamento de Ferramentaria da WEG, que é responsável pelo

estudo e desenvolvimento de máquinas e soluções para aplicações dentro da própria empresa.

## **2.2: Célula de produção de rotores completos**

Neste tópico será abordado o funcionamento da célula de produção atualmente vista no chão de fábrica, bem como o fluxo de materiais que passam por ela.

A célula de produção de rotores completos realiza quatro operações básicas sobre o material: prensagem do eixo no rotor, endireitamento do RC, usinagem do diâmetro externo e balanceamento de massa do RC.

A produção do eixo que chega a célula de estudo começa com a matéria prima (aço) em forma de tarugos maciços que são cortados no tamanho próximo ao que será o tamanho final do eixo. Posteriormente são realizadas operações como faceamentos, furações, usinagens, fresamento, retificação, etc. Esses processos são realizados de acordo com o projeto do motor e em sua maioria são realizados em máquinas CNC. Após a realização das operações necessárias, os eixos produzidos são enviados para célula de produção de RC.

Os rotores utilizados para produção dos RCs começam a ser produzidos a partir de chapas de aço cortadas em formato circular com furo central, onde o eixo futuramente será inserido. As chapas são agrupadas umas sobre as outras e posteriormente é feita a injeção de alumínio no rotor, obtendo-se assim a estrutura de fixação das chapas com características elétricas, magnéticas e com a resistência especificada em projeto.

Tendo em mãos as duas principais peças para fabricação do RC elas são encaminhadas à célula de produção de RC. A Figura 1 representa o layout dessa célula.

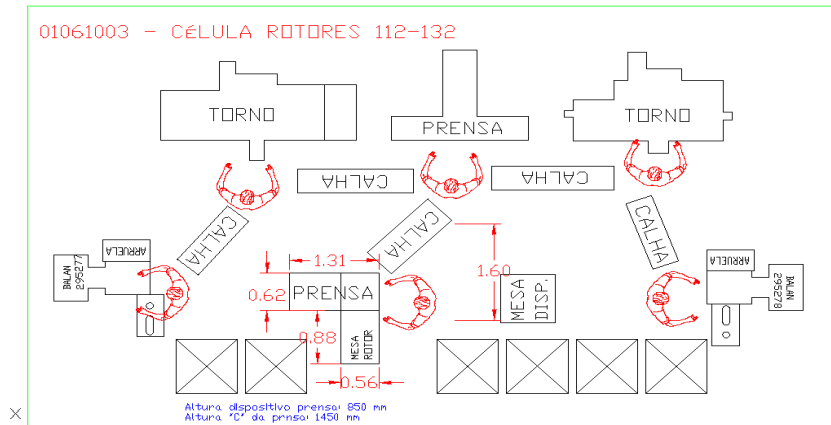


Figura 1: Layout da célula produtiva atual

A célula de produção possui seis operadores trabalhando simultaneamente. Cada um dos seis operadores é responsável pela realização de uma operação específica, e opera, a grosso modo, uma máquina.

A Figura 2 apresenta o layout da célula de produção com as indicações das operações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, além do posicionamento das grades de entrada de eixos, representada por E, entrada de rotores, R, e saída do material pronto S. A Figura 2 será utilizada com frequência para esclarecimento do fluxo de materiais na célula produtiva.

Inicialmente, os eixos e rotores encontram-se em grades representados respectivamente na Figura 2 pelas letras (E) e (R). A partir daí o operador da prensa (1) pega um eixo e um rotor e realiza a operação de prensagem. Essa operação une o eixo ao rotor por meio de uma prensa hidráulica.

O operador (1) então coloca a peça produzida no buffer que abastece a operação de endireitamento. Essa operação é representada pelo número (2) na Figura 2. Nessa operação é verificado o empenamento do eixo, e caso seja necessário é feito o endireitamento do eixo. O endireitamento é realizado também por uma prensa hidráulica acionada pelo operador da mesma.

O operador responsável pelo endireitamento separa o fluxo de peças entre dois buffers alternadamente. Esses buffers abastecem as operações (3) e (4) que realizam a usinagem do diâmetro externo do rotor. Essa usinagem é realizada de modo a dar forma e acabamento final ao rotor fazendo com que atenda às



especificações de projeto. A célula estudada conta com dois tornos convencionais, ou seja, são operados manualmente pelos operadores.

Após a usinagem do diâmetro externo é realizada a medição desse diâmetro de forma a verificar se o material se encontra dentro das tolerâncias desejadas e posteriormente o RC produzido em (3) e (4) são encaminhados aos buffers que abastecem a operação de balanceamento, representadas na Figura 2 pelos números (5) e (6).

As operações de balanceamento utilizam equipamentos que verificam a distribuição de massa do RC. Caso exista um desbalanceamento da peça os operadores devem acrescentar massa ao rotor. Na célula estudada essa massa é adicionada por arruelas, e posteriormente fazem nova medição de forma a verificar o balanceamento da peça, repetindo esse processo até que as tolerâncias sejam atingidas.

Terminado o processo de balanceamento realizados em (5) e (6) as peças são encaminhadas às grades de saída, representadas pelas letras (S) na Figura 2.

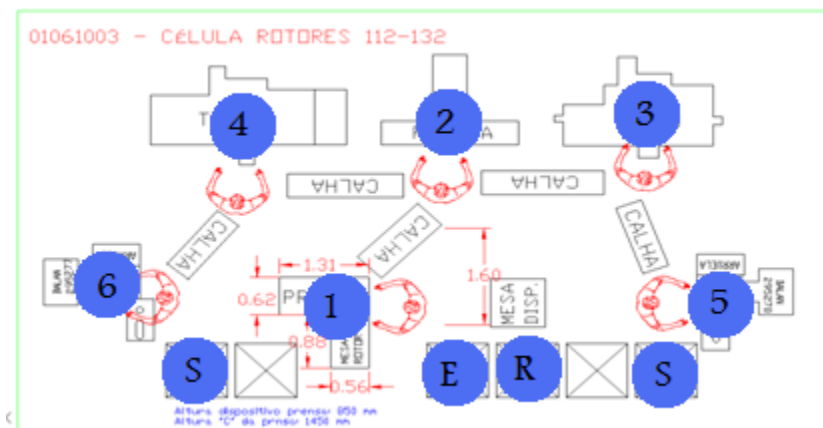


Figura 2: Layout da célula atual com descrição do fluxo de materiais

Como verificou-se pela descrição do processo, a célula de estudo é manual, com pouquíssimos recursos de automação, que limitam-se ao controle e funcionamento das máquinas, mas não na movimentação de materiais entre os processos.

## **2.3: Motivação**

Uma vez explicado o funcionamento da célula produtiva e as etapas básicas de fabricação, esse tópico descreverá os problemas contidos na célula atual e as melhorias objetivadas no projeto.

Conforme mencionado em 2.2, vemos que o processo atual é altamente dependente da força de trabalho dos operadores, eles realizam toda a movimentação de peças, bem como o acionamento, supervisão e medição das máquinas e materiais envolvidos.

### **2.3.1: Problemas Ergonômicos**

Segundo a Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) <sup>[1]</sup>: “A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho às características fisiológicas e psicológicas do ser humano”. Dentre os diversos riscos ergonômicos que podem existir, temos o trabalho físico pesado, posturas incorretas, monotonia, repetitividade, ritmo excessivo como fatores comumente abordados em relação ao corpo e atividades realizadas pelo trabalhador. Acrescido a isso vê-se os fatores psicológicos como metas de produtividade mal determinadas, pressão explícita e/ou implícita para manutenção de um ritmo exaustivo de trabalho, incentivo a produtividade através de prêmios e/ou diferenciação salarial e fatores relacionados ao ambiente de trabalho, como ambiente muito seco, muito frio, muito quente, barulhento, apertado, etc.

Sob o ponto de vista ergonômico, a análise feita sobre a célula de produção estudada é: ela processa RC com pesos que variam entre 7,5 kg e 25 kg cada peça. Atualmente a célula produtiva conta com 5 talhas utilizadas para movimentação das peças entre grades, máquinas e buffers. As talhas são equipamentos suspensos que auxiliam os operadores na movimentação de peças pesadas, e contam de modo geral com um motor posicionado em trilhos sobre do centro de trabalho.

As cinco talhas em questão são utilizadas pelo operador da prensa de endireitar, número (2) na figura 2, operadores de tornos números (3) e (4) da Figura 2 e pelos operadores de máquinas de balanceamento, números (5) e (6) da Figura

2. Não havendo uma talha disponível para o operador da prensa de prensagem do eixo no rotor, número (1) na Figura 2.

Devido a uma considerável quantidade de queixas e afastamentos de operadores da prensa com dores e lesões nos membros superiores, foi realizado um estudo pelo departamento de saúde e segurança da WEG no centro de trabalho, e constatou-se através de métodos de avaliação ergonômica que os operadores da prensa estão susceptíveis a um alto risco biomecânico para movimentação de peças acima de 7,7 kg, ou seja, para quase todo o mix produtivo do centro de trabalho. O estudo leva em consideração diversos fatores, como peso das peças, distancia de movimentação, frequência das operações, flexão de membros e coluna, posicionamento dos membros em relação às operações realizadas, entre outros.

A questão ergonômica desse centro de trabalho poderia ser resolvida com a utilização da talha pelo operador da prensa. Porém a utilização deste equipamento contrapõe em um novo problema, o de produtividade. A utilização da talha pelo operador da prensa tornaria a operação mais lenta, e dessa maneira o processo passaria a ter um tempo próximo ao de gargalo do centro.

Apesar de não ser a operação gargalo, o grau de utilização do operador da prensa passaria a ser de quase 100%, ou seja, o operador é muito exigido para acionar máquinas, carregar peças e realizar outras atividades previstas. Neste caso, qualquer desacordo ou imprevisto tornaria a operação o novo gargalo da célula, podendo diminuir consideravelmente a produtividade e inviabilizando a colocação da talha sob esse olhar.

### **2.3.2: Segurança**

Apesar da adequação da célula em relação às normas NR12, existe ainda o risco de acidentes na célula. Conforme mencionado as peças produzidas nesse centro de trabalho variam entre 7,5kg e 25kg, portanto problemas na movimentação das peças podem gerar esmagamento de membros dos operadores. Outro fator de grande risco na célula é o de cortes devido ao canal de chaveta presente na maioria dos eixos produzidos. A forma como ele é usinado cria uma superfície cortante que pode representar perigo aos operadores que manipulam as peças.

### **2.3.3: Qualidade**

Com um mercado competitivo, as empresas buscam cada vez mais oferecer um produto de qualidade. Uma vez que consideramos que o projeto de um motor foi bem desenvolvido e que ele funcionará de acordo com o planejado, cabe à fábrica garantir que as tolerâncias especificadas em projeto sejam respeitadas.

Nesse sentido, estudos são realizados frequentemente nas máquinas da WEG buscando descobrir se elas conseguem garantir uma estabilidade de processo adequada. Após estudos sobre estabilidade dos tornos convencionais presentes nesse centro de trabalho, foi verificado que eles possuíam baixa estabilidade. O estudo levou em conta dados como pp e ppk que são valores obtidos a partir do controle estatístico de processo, o que na prática resulta em uma quantidade considerável de refugo de peças não conformes que são descartadas ou retrabalhadas.

Por não ser o escopo do trabalho em questão, a metodologia de obtenção desses dados não será aqui abordada, cabendo somente ressaltar que os tornos utilizados na célula estudada não garantem a estabilidade do processo, sendo necessária uma reforma nos equipamentos ou a substituição deles, de modo a melhorar a qualidade das peças produzidas.

### **2.3.4: Redução de custos**

A redução de custos de produção é extremamente importante para manutenção da competitividade das indústrias no mercado, e tornou-se valiosíssima no atual momento econômico brasileiro. Nesse sentido, o ajuste no quadro de pessoal visando uma otimização da mão de obra requisitada tem sido um grande foco de estudo. A otimização da mão de obra nem sempre significa redução de quadro de funcionários da empresa como um todo, por vezes há uma realocação dessa mão de obra para outros setores ou centros de trabalho onde há uma necessidade de aumento de mão de obra.

De qualquer forma, a redução do quadro de funcionários de um centro de trabalho diminui o custo de um centro específico, tornando-o mais produtivo quando relacionamos o custo de hora/homem do centro. Portanto, a redução do número de operadores é também um ponto motivacional do projeto.

Visto um pouco sobre o local de realização do PFC, a descrição do processo que objetiva-se automatizar e as motivações que levaram a realização do projeto, abordaremos no Capítulo 3 os conceitos e ferramentas mais importantes para realização do projeto em questão.

## **Capítulo 3: Conceitos e ferramentas**

Nesse capítulo serão abordados os conceitos e ferramentas utilizadas para resolução do projeto.

### **3.1: Automação de processos industriais**

A automação é “um conjunto de técnicas destinadas a tornar automáticas a realização de tarefas, substituindo o gasto de bio-energia humana, com esforço muscular e mental, por elementos eletromecânicos computáveis”. Cabe ressaltar também a diferença entre automação e mecanização, a primeira permite a realização de um trabalho através de máquinas controladas automaticamente, já a segunda se limita ao emprego de qualquer tipo de maquinário capaz de diminuir ou mesmo substituir o esforço humano [2].

Esses conceitos são importantes para o projeto descrito uma vez que o projeto aborda de maneira direta a substituição de sistemas mecanizados por sistemas automatizados. Essa troca permite o aumento da eficiência produtiva, segurança, menor custo, maior produtividade, etc.

### **3.2: Robôs**

Robôs são “máquinas multifuncionais e reprogramáveis que podem executar tarefas normalmente associadas a seres humanos, possuindo também a capacidade de identificar alterações nas condições e restrições colocadas pela tarefa e/ou pelo meio envolvente, decidir quais ações devem ser tomadas e planejar sua execução” [3].

Um exemplo de robô manipulador industrial é visto na Figura 3, sendo este o mesmo utilizado no projeto em questão.



*Figura 3: Exemplo robô de manipulação industrial*

Dentre as vantagens da utilização de robôs industriais manipuladores podemos citar:

1. Redução de custos operacionais
2. Aumento de qualidade e consistência do produto
3. Melhoria e adequação do ambiente de trabalho e atividades humanas, além da adequação em relação as normas de segurança
4. Aumento produtivo
5. Flexibilidade
6. Redução de custos com materiais e maior rendimento
7. Diminuição do espaço físico do centro de trabalho

### **3.3: Simulação de Sistemas Robóticos**

A concepção do projeto robótico desenvolvida neste PFC contou com o Robot Studio como ferramenta de simulação robótica realística. Essa ferramenta foi desenvolvida pelo fabricante de robôs industriais ABB, que atualmente é considerada a maior fabricante de robôs industriais do mundo.

O RobotStudio é capaz de simular um robô real com grande perfeição de detalhes, nela é possível a programação off-line do robô e simulação de todo o comportamento do sistema antes mesmo da implementação física. Os pontos a serem destacados dessa ferramenta é a facilidade de programação, treinamento e otimização do sistema, além da redução de riscos, start-up mais rápido, maior flexibilidade e aumento produtivo, sem que seja necessária uma implementação ou intervenção do sistema real.

Para o PFC, essa ferramenta possibilitou a análise principalmente dos movimentos do robô, definição de layout e principalmente a tomada de tempos de manipulação de peças pelo robô, verificando a viabilidade produtiva do projeto.

### **3.4: Simulação do sistema produtivo**

A ferramenta de simulação do sistema produtivo escolhida para esse projeto é o Tecnomatix Plant Simulation, sendo tal ferramenta atualmente utilizada pela WEG para simulação e análise de seus sistemas produtivos. A ferramenta é desenvolvida e fornecida pela empresa alemã Siemens, que faz a seguinte consideração sobre os sistemas produtivos atuais: “Em épocas de aumento dos custos e prazos mais apertados de produção, junto com a globalização contínua, a logística tem se transformado em um fator-chave para o sucesso das empresas. O dinheiro pode ser perdido todos os dias devido a programações ineficazes, otimização local e não global, alocação inadequada dos recursos e produtividade insuficiente. A necessidade de entregar os produtos no prazo e de acordo com a demanda, introduzir o Kanban, planejar e criar novas linhas de produção e gerenciar redes globais de produção requer critérios de decisão objetivos para ajudar a equipe de gerenciamento a avaliar e comparar abordagens alternativas” [4].

Segundo o próprio fabricante, o “Tecnomatix Plant Simulation é uma ferramenta de simulação de eventos discretos que ajuda você a criar modelos digitais de sistemas logísticos (por exemplo, produção), para que seja possível explorar as características dos sistemas e otimizar seu desempenho. Com esses modelos digitais, é possível executar experiências e cenários hipotéticos sem afetar os sistemas de produção existentes ou quando usados no processo de



planejamento, bem antes que os sistemas de produção reais sejam instalados. Ferramentas de análise abrangente, como análise de dificuldades, estatísticas e gráficos permitem que você avalie diferentes cenários de fabricação. Os resultados fornecem as informações necessárias para tomar decisões rápidas e confiáveis nos primeiros estágios do planejamento da produção” [4].

Uma vez compreendidos os principais conceitos e ferramentas utilizados nesse projeto, passaremos ao Capítulo 4, onde serão discutidos o projeto e a modelagem do sistema proposto.

## **Capítulo 4: Projeto e modelagem da célula automatizada**

Conforme mencionado anteriormente, a célula produtiva atual possui diversos problemas relacionados à ergonomia, segurança, qualidade e produtividade, onde melhorias devem ser propostas e implementadas.

O primeiro problema abordado no projeto foi o referente à ergonomia vinculada ao operador da prensa de prensagem do eixo no rotor. Em seguida foram avaliadas as questões que abrangeriam o resto da célula como qualidade, produtividade, redução de custos, segurança, etc.

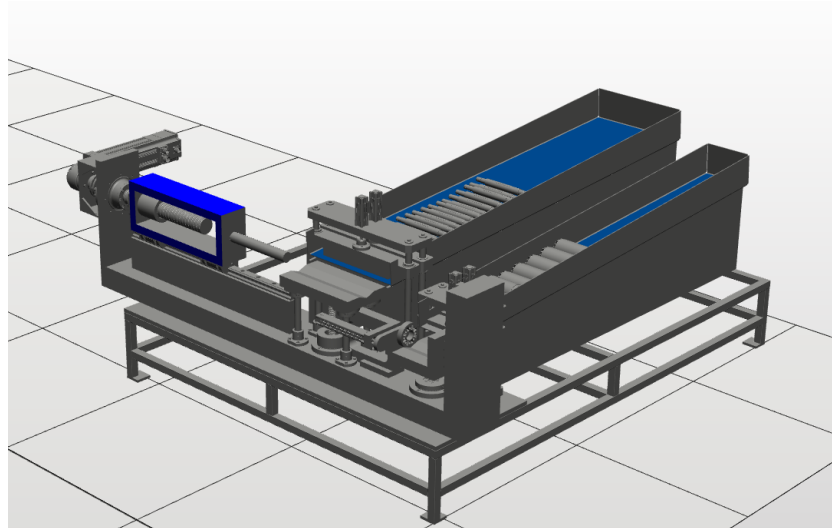
### **4.1: Prensa automática**

No Capítulo 2 foi apresentado o problema ergonômico relacionado ao operador da prensa de prensagem do eixo no rotor. O problema advém principalmente pela não utilização de equipamentos que auxiliam na movimentação das peças e também pela frequência com que o operador é exigido. Cabe lembrar que a utilização da talha aumentaria o tempo da operação e, portanto, geraria uma queda de produtividade, sendo portanto uma solução inviável para resolução do problema.

Uma solução já previamente proposta por um engenheiro do departamento de Engenharia Industrial com o auxílio do departamento de ferramentaria da WEG foi a utilização de uma prensa servo-acionada horizontal.

A prensa servoacionada substituiria a prensa hidráulica atualmente utilizada. O equipamento prevê um buffer de alimentação para eixos, um buffer de entrada para rotores, um sistema para encaixe do eixo no rotor, um sistema pneumático de liberação individual de rotores e eixos, um redutor planetário para aumento da força de prensagem, etc.

A Figura 4 ilustra a prensa servo-acionada projetada pela Ferramentaria WEG.



*Figura 4: Prensa automática servo-acionada*

A utilização da prensa automática resolve os problemas relacionados à ergonomia e segurança do operador envolvido, além de garantir a produtividade, uma vez que os tempos de prensagem propostos pelos responsáveis do projeto serão iguais ou inferiores aos atualmente realizados pela prensa hidráulica manual. A prensa passaria a depender de um operador somente para setup e reposição dos buffers de entrada, ação que poderá ser feita com o auxílio da talha sem prejuízo à ergonomia nem aos tempos de ciclo da operação.

A utilização da prensa servo-acionada agrega também em outros fatores. Uma vez que ela passará a ser automática não haverá mais a necessidade de um operador para essa prensa, ou seja, haverá a redução de dois operadores, um para cada turno.

Outro fator a ser analisado é a questão da qualidade. Hoje em dia, a prensa hidráulica é operada manualmente pelo operador. Ele é o responsável por determinar quanto o eixo vai “entrar” no rotor. Com a utilização dessa prensa, há uma tendência de atendimento das medidas de projeto desde a primeira peça do lote até a última. Seguindo a linha de raciocínio essa melhoria de qualidade pode significar menor refugo, e mediante estudos a frequência de medição das peças provenientes da prensagem poderá ser diminuída, eliminando atividades que não acrescentam valor ao produto conforme a filosofia adotada pela empresa.

## **4.2: Projeto global da célula**

Resolvido o problema ergonômico e avaliadas as melhorias obtidas pela utilização da prensa automática, entraremos agora na fase de proposição e avaliação das novas soluções para a célula como um todo.

Como visto nos capítulos anteriores, a célula de produção atualmente utilizada possui um pequeno grau de automatização, limitando-se ao acionamento de máquinas e controle interno das mesmas. Observou-se também que dentre os principais problemas contidos no centro de trabalho àquele que se refere à ergonomia não pôde ser resolvido de maneira simples devido à queda produtiva que a solução causaria. Portanto, para a definição do novo layout, métodos e tempos do centro de trabalho teremos como premissa a não diminuição da produtividade.

### **4.2.1: Definição de máquinas e layout**

Nesse ponto do projeto, começamos a avaliar de forma global as melhorias que poderíamos proporcionar ao centro de trabalho atual. A utilização de robôs em plantas industriais ao redor do mundo não é algo novo, e vem obtendo bons níveis de eficiência, qualidade, produtividade e segurança. Podemos ver na indústria automobilística o sucesso do emprego de robôs na linha de produção, onde grande parte do processo é realizado por eles com o mínimo da interferência humana.

Observando o sucesso do emprego de robôs em diversos setores industriais, e até mesmo em algumas células dentro da própria WEG, verificou-se por parte da empresa a necessidade de automação de mais processos, a fim de melhorar as questões já anteriormente discutidas. Seguindo essa nova visão da empresa, foi proposta a utilização de um robô na célula de estudo.

A utilização de robôs de manipulação comerciais é uma realidade na indústria, e a programação, manutenção e flexibilidade desses equipamentos é cada vez mais simples. Porém quando analisada a célula atual, viu-se a grande dificuldade de automação e utilização de robôs com os equipamentos atualmente utilizados. Dessa forma, uma adequação geral da célula deveria ser feita, a começar pelas máquinas.

No Capítulo 2, foi discutida a utilização de tornos convencionais na célula, vimos que eles são altamente dependentes do conhecimento e habilidades de seus operadores. Foi discutida também a qualidade das peças ali produzidas e a estabilidade do processo. Baseado nisso, vemos que a troca dos atuais tornos por tornos CNC seria uma boa opção considerando que a utilização de tornos convencionais impossibilitaria uma maior automatização do processo.

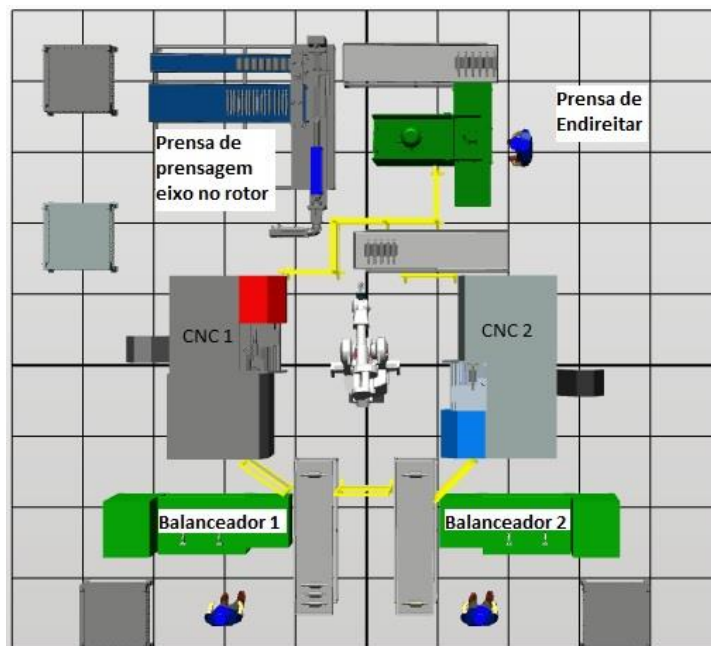
Os tornos CNC possibilitariam a automação do processo e utilização dos robôs, além de possuírem de maneira geral um tempo menor de operação total, uma dependência mínima dos operadores e uma estabilidade de processo que tende a ser muito melhor daquela encontrada nos tornos atuais.

Além da utilização dos CNCs e do robô, a prensa automática faria parte da nova célula, dessa forma conseguiríamos automatizar grande parte das operações, reduzir o número de operadores e resolver grande parte dos problemas relacionados à segurança, ergonomia e qualidade.

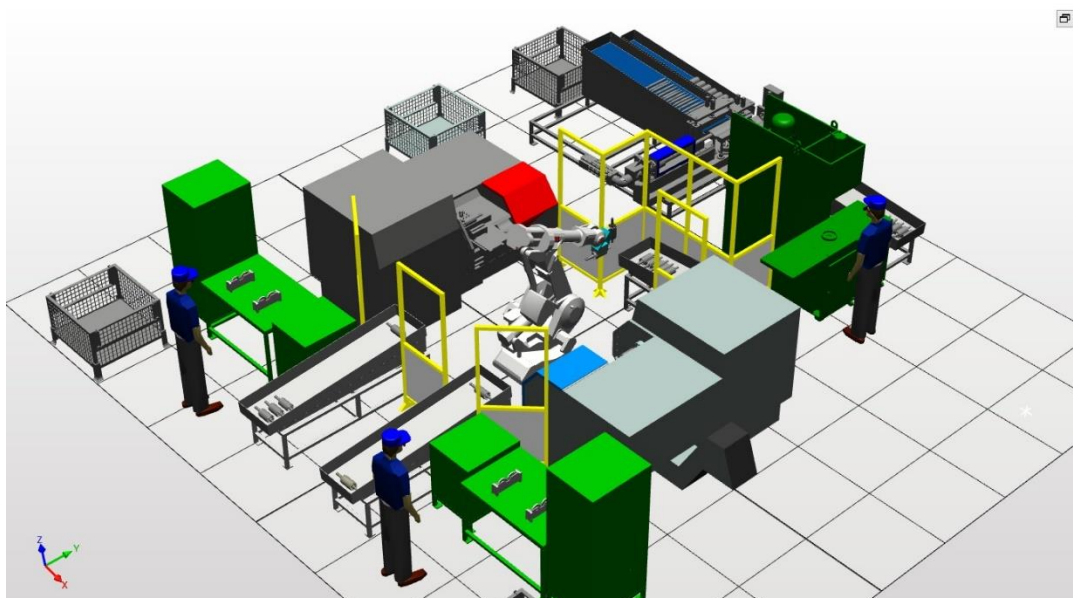
A figura 4 mostra o novo layout da célula produtiva. Sua definição partiu do princípio de melhor utilização dos recursos do robô, CNCs, buffers e operadores. A primeira e mais importante escolha de equipamento para determinação do layout foi o modelo do robô ABB a ser utilizado. Para isso, foi avaliado principalmente a carga a ser suportada pelo robô, sendo ela a soma de duas peças de até 25kg cada. De forma a aproveitar o tempo de movimentação do robô, foi proposta a utilização de garra dupla no robô, que retiraria uma peça do CNC e já colocaria outra. Essa garra dupla teve peso estimado em 10 kg. Com isso o modelo mais adequado de robô comercial foi o ABB 4400, que possui um payload de 60kg.

A escolha da ABB como fabricante deveu-se muito às experiências anteriores da WEG com esse fabricante, onde apresenta facilidade de programação, manutenção, assistência técnica, além dos custos envolvidos. A utilização do robô ABB proporcionou um melhor estudo do projeto uma vez que esse fabricante possui um software de simulação realista de seus robôs e de todo o sistema envolvido. Nele é possível adicionar desenhos tridimensionais e o mais interessante para o projeto é a verificação dos tempos reais de movimentação do robô, uma vez que as movimentações do robô simulado são fiéis ao robô real (físico). As *Figura 5* e *Figura*

6 mostram o ambiente virtual do software Robot Studio da ABB, além de representarem o novo layout proposto com as demais máquinas.



*Figura 5: Vista superior do layout (Proposta I)*



*Figura 6: Vista em perspectiva layout (Proposta I)*

Como podemos ver nas Figura 5 e Figura 6, ainda tem-se a utilização de três operadores na célula. Isso se deve ao fato da tecnologia para endireitamento e balanceamento automático de rotores ainda ser muito limitada e com alto custo de implementação sem a certeza de bom funcionamento. Portanto, decidiu-se manter as operações de endireitamento e balanceamento como são feitas atualmente na célula, por operadores.

Uma vez definido o novo layout, passou-se à definição dos novos métodos e tempos a serem feitos no centro de trabalho. O Capítulo 2.2 abordou o funcionamento atual da célula de produção, e agora devemos redefinir as atividades de cada máquina e operador, que passará a ser da seguinte forma:

### **Prensagem**

- O setup da prensa servo acionada passará a ser realizado pelo operador da prensa de endireitar. O alinhamento e a prensagem do eixo no rotor serão realizados automaticamente. Um buffer de eixos e rotores alimentará a prensa durante certo intervalo de tempo.
- A medição será realizada pelo operador da prensa de endireitar. Caso o processo garanta a prensagem dentro das tolerâncias essa medição terá uma frequência muito baixa, podendo até mesmo ser realizada no início e final de lote.

### **Endireitamento**

- A modificação nessa operação será nas atividades realizadas pelo operador. Além de suas atividades atuais, ele passará também a ser responsável pelo setup máquina de prensagem do eixo no rotor e abastecimento dos buffers de rotores e eixos desta prensa.

### **Torneamento**

- A solução prevê a utilização de um robô industrial de manipulação para alimentação de dois tornos CNC que farão a usinagem do diâmetro externo do rotor.
- É prevista também a aquisição de dois novos tornos CNC, substituindo os tornos convencionais.
- A aferição das medidas do diâmetro externo passará a ser responsabilidade dos operadores de balanceamento.

## **Balanceamento**

- A modificação nessa operação será nas atividades realizadas pelo operador. Além de suas atividades atuais, ele será responsável pela medição das peças provenientes do processo de usinagem.

Uma vez redefinidas as atividades de cada operador e máquina da célula, o fluxo do material passaria a ser como visto na Figura 7:

- Os rotores (R) e eixos (E) são colocados nos buffers de alimentação da prensa
- A prensa realiza a prensagem automática do eixo no rotor (1).
- O material prensado tem seu comprimento de prensagem medido, sua medição de batimento é realizada, e caso necessário é feito o endireitamento (2).
- O material verificado e endireitado é colocado no buffer (3).
- O robô pega a peça no buffer (3) com uma de suas garras, retira a peça que está sendo usinada em (4) com a garra vazia, e coloca no CNC 1 a peça proveniente de (3) para que ela seja usinada.
- O robô coloca no buffer referente à operação de balanceamento (6) a peça já usinada proveniente do CNC 1 (4).
- O robô retorna ao buffer (3), pega uma nova peça proveniente de (2), retira a peça pronta de (5) e deposita a peça a ser usinada no CNC 2 (5).
- O robô deposita a peça proveniente de (5) no buffer referente à operação de balanceamento (7).
- Após as operações de balanceamento serem realizadas, as peças prontas são depositadas nas grades de saída (S).



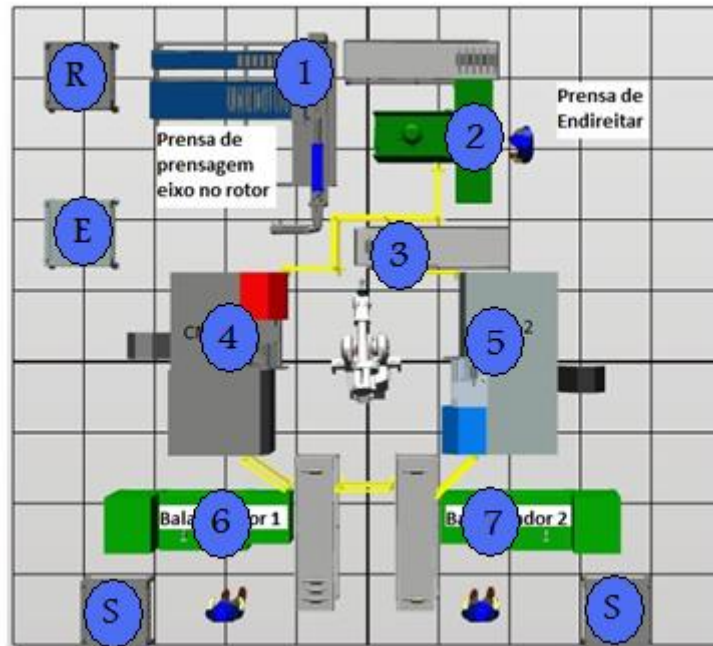


Figura 7: Layout Proposta I com indicação de fluxo de materiais

#### 4.2.2: Definição de tempos e simulação robótica

A garantia da produtividade da célula está altamente vinculada aos tempos de cada operação realizada. Portanto existe uma preocupação na verificação adequada dos futuros tempos empregados em cada operação, onde questionamentos sobre o atendimento e movimentação do robô são realizados.

Para tirar essas dúvidas e justificar o alto investimento de automação da célula foi realizada uma simulação no RobotStudio de forma a verificar os tempos das ações do robô. Essa é uma etapa chave para aprovação do projeto por parte da empresa tanto pela impressão visual que a simulação apresenta, quanto pela verificação do funcionamento do robô e seus tempos. Garantindo dessa forma que o robô será realmente capaz de substituir os operadores que realizam as atividades.

#### **4.2.2.1: Programação do robô virtual**

O software de simulação Robot Studio serve também para programação dos robôs reais, ou seja, o programa que faz o robô se movimentar na simulação é o mesmo de um robô real, podendo até mesmo ser feito download do programa da simulação para o controlador real.

Existem diversas formas de programação para robôs industriais de manipulação. No nosso estudo de caso foi escolhida a programação ponto a ponto, onde movimentava-se o robô até a posição desejada e faz-se uma “gravação” da localização do ponto de referência desse robô no espaço. Em suma, o que é gravado é a posição de cada um dos seis eixos do robô.

Mediante a gravação da nuvem de pontos desejados para a rota do robô, da programação da sequência dos pontos e configuração de velocidade entre os pontos, o software fica responsável pela interpolação dos pontos e geração da rota, que no caso é a menor distância entre os pontos em linha reta. Isso acontece tanto no ambiente simulado, quanto no sistema real, (programas utilizados nas propostas podem ser vistos no Apêndice C). Além disso, o Robot Studio permite a interação do robô com equipamentos e peças ao redor, proporcionando um maior realismo à simulação. Um exemplo disso foi o controle utilizado para abertura e fechamento das portas dos CNCs, manipulação dos rotores em calhas e nos tornos, realização de intertravamentos, etc.

Com o projeto e a modelagem do sistema proposto em mãos, devemos passar à próxima etapa do projeto, a validação produtiva do sistema, que será abordada no próximo capítulo. No Capítulo 5 veremos mais a fundo a utilização da ferramenta de simulação de produção e a forma de obtenção dos dados usados para alimenta-la

## **Capítulo 5: Validação do novo sistema produtivo**

A busca pela melhoria contínua de processos industriais que visam reduzir custos, melhorar qualidade, aumentar competitividade e garantir a eficiência dos processos é cada vez mais presente nas indústrias brasileiras e mundiais. A perda de produtividade é evitada de todas as formas e é somente justificada em situações especiais, onde existe um grande potencial de melhoria de qualidade e agregação de valores, diminuição de custos produtivos ou adequação à regras de segurança e/ou leis regulamentadoras.

A grande dúvida é: Como garantir que um investimento de tempo, dinheiro e mão de obra afetará positivamente a produção? A resposta por muito tempo foi obtida através de planilhas, gráficos ou análises qualitativas, que por vezes podiam ser extremamente complexas e acabavam sendo feitas de forma superficial dependendo muitas vezes do “felling” e de experiências anteriores para a tomada de decisão.

No mundo extremamente computadorizado em que vivemos, a resposta para essa questão acabou ganhando novos contornos, e obviamente a utilização de ferramentas computacionais de análise e simulação acabaram surgindo e permeiam cada vez mais o meio industrial. Com resultados mais precisos e uma flexibilidade impressionante de modelagem dos processos, os softwares de simulação de produção obtém resultados em segundos para uma simulação de um ano de produção de uma fábrica toda, facilitando em muito a tomada de decisões.

### **5.1: Simulação produtiva**

Atualmente os trabalhos de análise produtiva feitos na WEG são realizados através do software Plant Simulation. A descrição do software, suas funcionalidades, forma de programação e configuração foram abordadas no Capítulo 3 – Conceitos e Ferramentas. Neste momento passaremos a discutir a implementação dos sistemas e alimentação de dados à simulação que desejamos analisar.

### 5.1.1: Modelagem do layout e parte gráfica do sistema

Uma vez que pretendemos avaliar as modificações propostas para a célula produtiva atual, nada mais coerente que simularmos a produção atual e a proposta a fim de compararmos os resultados obtidos.

Em uma primeira etapa foi realizada a modelagem do sistema em cima do sistema atual descrito nos capítulos anteriores. Para isso foram definidas as operações e possíveis agrupamentos, simplificações, definição do fluxo de material e posteriormente acrescentados os tempos de cada uma das operações. O conhecimento apurado do funcionamento da célula produtiva e o estudo e verificação dos dados que estarão disponíveis para simulação são peças chave para uma simulação de qualidade.

Na Figura 8 Figura 8: Simulação Plant Simulation da célula atual pode-se verificar a interface gráfica da célula atual que desejamos simular.

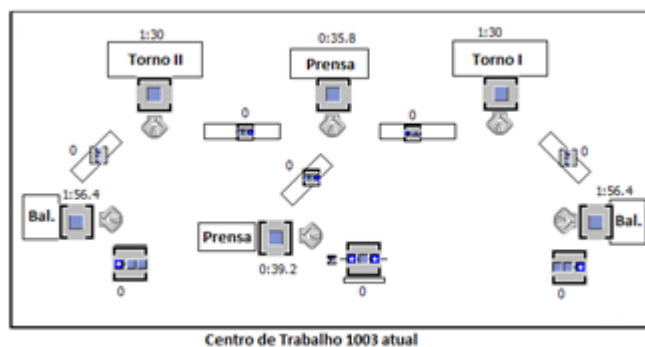


Figura 8: Simulação Plant Simulation da célula atual

A Figura 9 representa a célula robotizada proposta.

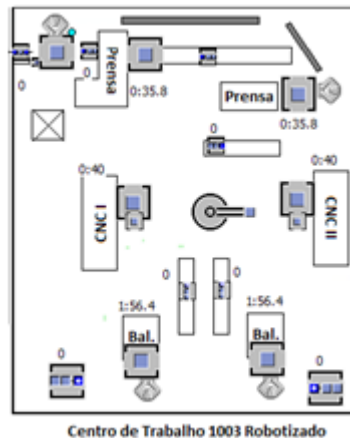


Figura 9: Simulação Plant Simulation do centro de trabalho robotizado (Proposta I)

Em ambas as figuras vê-se diversos elementos utilizados para simulação da célula. Os blocos representam os processos simples, onde uma peça entra e é trabalhada nele. O software permite a adição de tempos de produção, modificação do material, tempo e definição de setup, funcionamento automático ou manual, etc.

Os blocos representam os buffers, neles assim como nos processos simples podemos determinar o tempo em que uma peça demora entre a sua entrada até o momento em que ela estará disponível, além da sua principal utilidade que é a definição do tamanho do buffer.

Postos de trabalho são representados pelo símbolo . Na simulação realizada esses postos devem obrigatoriamente ser ocupados por operadores, representados por , para que a máquina adjacente a ele possa funcionar.

A simulação do robô “pick and place” também é realizada pelo software, e nesse caso é representado por . O robô simulado no Plant Simulation possibilita a programação para realização de movimentos de pegada e colocação de peças determinados, possibilitando também a configuração de velocidades, ângulos, tempos, etc.

Outro elemento importante para compreensão da simulação é a calçada. Ela é representada graficamente por e possibilita a movimentação de um operador entre postos de trabalho .

### **5.1.2: Modelagem das operações e movimentações**

Uma vez que o sistema tenha sido modelado estruturalmente, foi necessária a configuração das atividades e especificidades de cada elemento do sistema. Exemplos disso são as programações de movimentação do robô e dos operadores que devem movimentar-se entre centros de trabalho para realização de uma atividade. O Apêndice A mostra o código implementado para coordenação da movimentação do robô no Plant Simulation, já o Apêndice B mostra o código utilizado para coordenação do operador da prensa de endireitar que realiza medições, abastecimento da prensagem e endireitamento.

### **5.1.3: Determinação dos tempos das operações para simulação**

O departamento de Engenharia Industrial da WEG possui uma seção dedicada a obtenção dos tempos de produção, a seção de Métodos e Tempos. Esta seção possui funcionários treinados para adquirir tempos e dados dos processos ao longo de anos dos mais diversos centros de trabalho e materiais. Dessa forma conseguem gerar dados para análise dos processos e implementação dos roteiros de produção, onde é indicado quanto tempo de cada célula será destinado para a produção de cada peça.

Uma vez que a WEG possui uma seção dedicada à obtenção dos tempos mais precisos possível, os valores de tempos utilizados na simulação foram fornecidos pela seção de Métodos e Tempos da WEG. A priori, essa seção possui somente os tempos dos processos atuais ou passados da empresa, ou seja, foram utilizados nas simulações os tempos das operações que não foram alteradas. Para as atividades que sofreram alterações os tempos adicionais ou que devem ser subtraídos foram realizadas cronometragens in loco de um processo semelhante ao estudado para que haja uma fidelidade da simulação ao mundo real. Já o tempo do robô de manipulação foi obtido através da simulação realizada no RobotStudio, o software consegue garantir com grande precisão as ações e tempos de um robô real.

Uma característica do sistema produtivo WEG é a sua imensa gama de produtos. Existem milhares de motores diferentes que são produzidos, cada um com sua peculiaridade, dimensões, pesos e conseqüentemente tempo de trabalho. Isso nos leva a uma situação complicada no momento em que queremos fidelizar a produção virtual e real. Por isso, para que tenhamos bons parâmetros temporais da produção as peças foram divididas em três famílias de tempos para cada operação básica. As operações a serem consideradas serão: prensagem, endireitamento, usinagem, balanceamento, e no caso da célula automatizada tempo de movimentação do robô e tempo de alimentação do buffer de entrada da prensa.

Os tempos obtidos a partir das crono-análises para a célula não automatizada atual são apresentados na Tabela 1.

Funcionamento Atual [s]				
Família	Prensagem	Endireitamento	Torneamento Convencional	Balanceamento
1	32,193	20,160	61,800	81,600
2	39,186	35,840	90,000	116,400
3	39,186	35,840	91,560	116,400

*Tabela 1: Tempos da célula atual*

Na Tabela 2 encontramos os tempos referentes à célula automatizada. Conforme visto não há diferença de tempos para duas de quatro operações. Isso por que a operação de prensagem tem como premissa manter ao menos o tempo atual, e o endireitamento não sofrerá mudança no processo.

A diferença no tempo de balanceamento se deve ao fato da medição do diâmetro externo do rotor passar a ser realizada pelos operadores dos balanceadores. Havendo portando a adição do tempo de ação à essa operação.

Proposta I [s]				
Família	Prensagem	Endireitamento	Torneamento CNC	Balanceamento
1	32,193	20,160	-	88,200
2	39,186	35,840	-	123,000
3	39,186	35,840	-	123,000

*Tabela 2: Tempos da Proposta I*

Para estimar os tempos da operação de torneamento realizado em tornos CNC, foram realizados testes dos três materiais que servirão como base para formação das famílias. O teste consistiu no funcionamento de um CNC com características semelhantes ao que será utilizado no projeto físico real, rodando em vazio, ou seja, sem nenhuma peça em seu interior, servindo somente para a tomada dos tempos da operação de torneamento em um CNC. A Tabela 3 mostra o resultado obtido em tal teste.

Família	Torneamento [s]
1	21,68
2	26,038
3	31,076

*Tabela 3: Tempos de torneamento em CNC*

Para determinação do tempo final de usinagem do rotor em um CNC foi adicionado ao tempo mostrado na Tabela 3, o tempo de movimentação do robô para retirada da peça usinada e colocação da peça a ser usinada. Sendo esse tempo de 8,450 segundos.

Baseado nos dados apresentados na Tabela 3, e somando o tempo de retirada e colocação da nova peça, tem-se os tempos totais da operação de usinagem para as três famílias, apresentados na Tabela 4.



Família	Torneamento + Robô [s]
1	30,180
2	34,538
3	39,576

Tabela 4: Tempos de torneamento + manipulação do robô no torno

Através da cronometragem da simulação dos movimentos do robô podemos obter os últimos dados de tempos necessários para realização da simulação completa do sistema. Os dados relevantes de movimentação estão contidos na Tabela 5.

Tempos de movimentação do robô					
De \ Para	Calha de entrada	CNC1	CNC2	Calha de saída/CNC1	Calha de saída/CNC2
Calha de entrada	...	4,19	5,03	...	...
CNC1	...	...	...	7,51	...
CNC2	...	...	...	...	6,87
Calha de saída/CNC1	7,4	...	...	...	...
Calha de saída/CNC2	6,53	...	...	...	...

Tabela 5: Tempos de movimentação do robô

Dispondo de todos os tempos necessários para a simulação, juntamente com a estrutura do ambiente simulado e suas programações, foi possível então a realização da simulação e análise dos dados obtidos. Essas questões serão abordadas no Capítulo 6.

## **Capítulo 6: Resultados e análises das simulações da célula atual e proposta**

Nos capítulos anteriores foram evidenciados os objetivos, motivações, importância, raciocínios de desenvolvimento, métodos e ferramentas computacionais que foram utilizadas para o desenvolvimento desse projeto. Neste capítulo abordaremos os resultados e análises obtidos principalmente a partir das simulações realizadas no Plant Simulation.

### **6.1: Análise de produtividade**

A primeira questão a ser analisada em cima dos resultados obtidos é a produtividade do sistema. Para realização da simulação foi adicionada uma lista de materiais separados entre as três famílias, como abordado no Capítulo 5. Essa lista manteve a proporção do tamanho dos lotes e frequência produtiva de cada um dos materiais. Dessa forma pudemos analisar de forma mais realista o funcionamento do sistema. A listagem dos materiais com lotes e cargas produtivas próximas aos reais são importantes para determinação da frequência em que os setups de máquinas são realizados.

A Figura 10 mostra os resultados produtivos de uma simulação de 1 dia da célula.

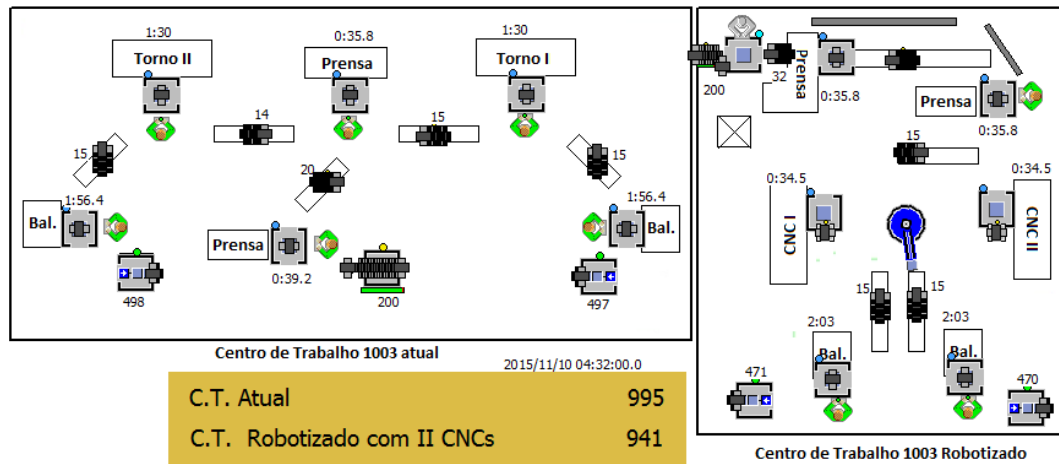


Figura 10: Resultados do Plant Simulation - 1 dia de produção

Como se pode observar, a produção utilizando um sistema robotizado apresenta uma pequena queda produtiva em relação ao sistema atual. Isso por que a operação de balanceamento tornou-se mais lenta na proposta robotizada, uma vez que a ação de medir passa a ser realizada pelo operador do balanceador.

## 6.2: Análise das taxas de ocupação dos operadores e máquinas

Outras análises que podemos fazer remetem à taxa de ocupação de cada operação realizada na célula. Esse dado indica o balanceamento da célula, sobrecarga de máquinas e operadores, etc. Os dados obtidos podem ser vistos nos Gráficos 1 e 2.

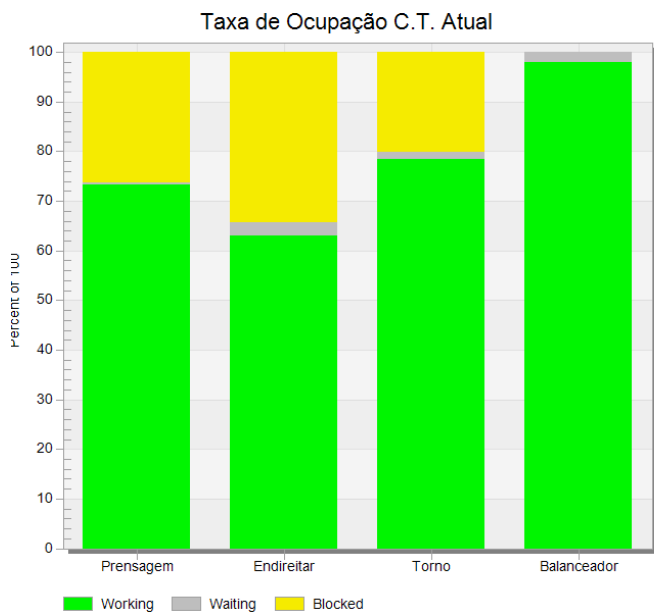


Gráfico 1: Taxa de Ocupação C.T. Atual (Não Robotizado)

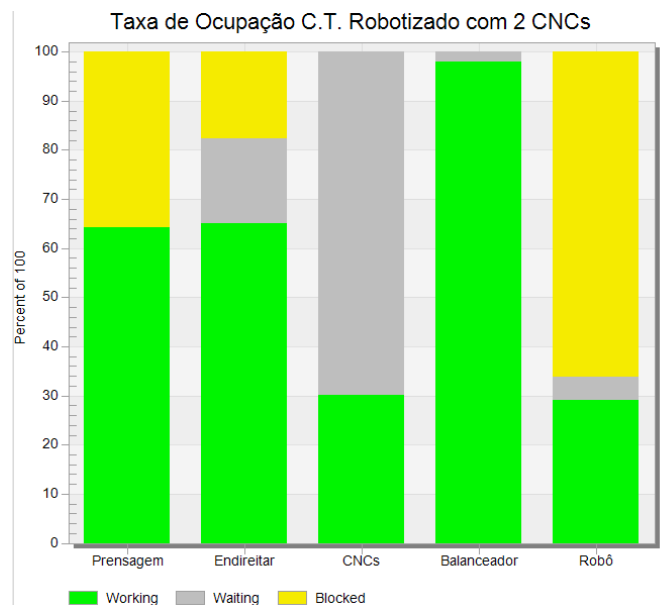


Gráfico 2: Taxa de Ocupação C.T (Proposta I)

Através da análise dos dados gerados pela simulação podemos ver que o ciclo produtivo é determinado pela operação gargalo de balanceamento que encontra-se no final da linha para ambos os casos.

Observa-se nos gráficos que uma parte considerável do tempo as máquinas ou operadores encontram-se bloqueados ou esperando material. O bloqueio se deve ao número limitado de peças que cabem no buffer, já a espera é causada pela falta de material a ser processado, que aguarda a operação anterior terminar seu trabalho para assim realizar sua atividade.

Para a célula atual, o tempo trabalhando (“working”), da operação de prensagem fica em 73%, o operador de endireitamento é exigido durante 63% do ciclo, a operação de torneamento 78%, e o balanceamento é exigido 99% do tempo do ciclo produtivo, havendo somente um tempo de espera por peças devido à inicialização da célula no dia representado pelo tempo em (“waiting”).

O gráfico 2 indica uma grande modificação na taxa de ocupação das máquinas e operadores em relação à célula atual. Nele vê-se que a operação de balanceamento continua sendo a operação gargalo do sistema, e apresenta uma

taxa de ocupação de 99% em relação ao tempo de ciclo da célula. A operação de prensagem tem uma queda para 64% de ocupação, causada pelo acréscimo de atividades do operador da operação subsequente, que deve, além de realizar suas atividades normais, abastecer o buffer da prensa de prensagem, fazendo com que a prensa de endireitar funcione durante menos tempo, bloqueando a prensagem por mais tempo em relação ao sistema atual e assim diminuindo sua taxa de ocupação.

A ocupação do operador da prensa de endireitar, representada nos Gráfico 1 e Gráfico 2, por Endireitar, tem um pequeno aumento devido a sua nova atividade que é de abastecer o buffer de entrada da prensa de prensagem, e tem a ocupação de 65%.

Uma análise importante para o projeto deu-se na taxa de ocupação do torno CNC e do robô. O gráfico 2 mostra que o robô retira a peça do CNC e acaba ficando com a peça na garra esperando para colocar nos buffers destinados às operações de balanceamento. Por isso, os tornos CNCs apresentam um grau de utilização muito baixo, uma vez que suas ações são mais rápidas que as praticadas pelos tornos convencionais, e portanto, ficam boa parte do tempo parados. As taxas de ocupação do robô e dos CNCs ficam em 30% cada.

A análise desses dados evidenciou uma baixa eficiência dos recursos da célula proposta. A princípio a proposta previu manter a ideia da célula atual fazendo somente as modificações necessárias para que houvesse a automação do sistema, porém, uma vez que verificou-se o baixo grau de aproveitamento dos recursos novas propostas deveriam ser feitas a fim de otimizar o sistema e evitar gastos desnecessários, e é sobre essa nova proposta que tratará o Capítulo 7.

## Capítulo 7: Uma nova proposta

No capítulo 6 pode-se verificar através da simulação do processo produtivo que o sistema proposto poderia ser otimizado e dessa forma ter seus recursos melhor aproveitados. Com base nos dados obtidos, observa-se uma taxa de ocupação de 30% tanto para o robô, quanto para o CNC. Sendo assim, se dobrarmos a utilização de cada um desses elementos, conseguiríamos produzir o dobro de peças por máquina e atenderíamos a demanda dos balanceadores com um único torno CNC.

### 7.1: Definição do novo layout

Seguindo a linha de raciocínio e os objetivos do projeto já anteriormente mencionados, o layout proposto para otimização de máquinas é visto nas Figuras 11 e 12.

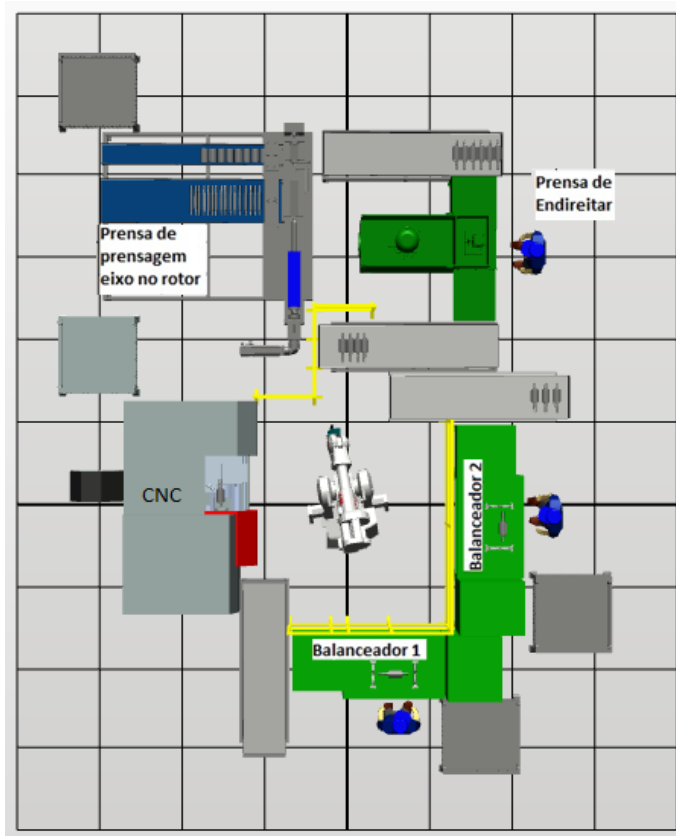
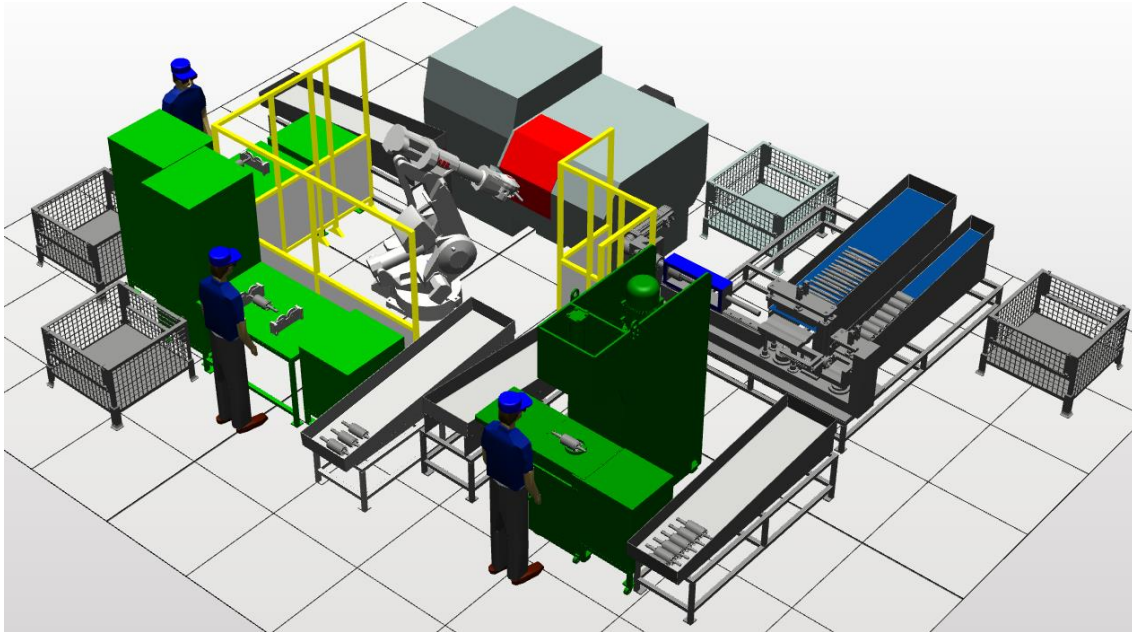


Figura 11: Vista superior layout Proposta II



*Figura 12: Vista em perspectiva do layout Proposta II*

O novo layout visto nas Figuras 11 e 12 segue o mesmo princípio da proposta I. As diferenças e melhorias dessa proposta em relação à anterior começam pela retirada de um torno CNC que mostrou-se desnecessário na simulação do sistema anterior, à partir disso, o novo layout possibilitou um maior aproveitamento do operador da prensa de endireitar. O layout foi configurado para que o operador da prensa de endireitar passe a ser responsável pela medição do diâmetro externo do rotor usinado. Essa atividade anteriormente passaria a ser realizada pelos operadores da máquina de balancear, que são os gargalos do sistema, mesmo que o tempo gasto para essa atividade seja pequeno a ação precisaria ser realizada, e conforme mostrado anteriormente, há uma diminuição diária da produção do C.T. por conta dessa operação realizada a mais.

## 7.2: Novos métodos

Para essa nova proposta as atividades de cada operador e máquina serão:

### **Prensagem**

- O setup da prensa servo acionada passará a ser realizado pelo operador da prensa de endireitar. O alinhamento e a prensagem do eixo no rotor serão realizados automaticamente. Um buffer de eixos e rotores alimentará a prensa durante certo intervalo de tempo.
- A medição será realizada pelo operador da prensa de endireitar. Caso o processo garanta a prensagem dentro das tolerâncias essa medição terá uma frequência muito baixa, podendo até mesmo ser realizada no início e final de lote.

### **Endireitamento**

- A modificação nessa operação será nas atividades realizadas pelo operador. Ele passará também a ser responsável pelo setup da máquina de prensagem do eixo no rotor e abastecimento dos buffers de rotores e eixos desta prensa. Será responsável também pela medição do diâmetro externo dos RCs provenientes do CNC.

### **Torneamento**

- A solução prevê a utilização de um robô industrial de manipulação para alimentação do torno CNC que fará a usinagem do diâmetro externo do RC.
- É prevista a aquisição de um torno CNC, substituindo os dois tornos convencionais.
- A aferição das medidas do diâmetro externo passará a ser responsabilidade dos operadores da prensa de endireitar.

### **Balanceamento**

- O balanceamento nessa proposta não sofrerá alterações em relação ao original



O fluxo do material pela célula para a Proposta II é descrito a seguir e segue a Figura 13:

- Os rotores (R) e eixos (E) são colocados nos buffers de alimentação da prensa
- A prensa realiza a prensagem automática do eixo no rotor (1).
- O material prensado tem seu comprimento de prensagem medido, sua medição de batimento é realizada, e caso necessário é feito o endireitamento (2).
- O material verificado e endireitado é colocado no buffer (3).
- O robô pega a peça no buffer (3) com uma de suas garras, retira a peça que está sendo usinada em (4) com a garra vazia, e coloca no CNC a peça proveniente de (3) para que ela seja usinada.
- O robô coloca no buffer referente à operação de balanceamento (5) a peça já usinada proveniente do CNC (4).
- O robô retorna ao buffer (3), pega uma nova peça proveniente de (2), retira a peça pronta de e deposita a peça a ser usinada no CNC (4).
- O robô deposita a peça proveniente de (4) no buffer referente à operação de balanceamento (6).
- De acordo com a frequência necessária determinada pelo setor de Qualidade da WEG, o operador da prensa de endireitar (2) se dirige à calha (7) e realiza a medição do diâmetro usinado.
- Após as operações de balanceamento em (5) e (6) serem realizadas as peças prontas são depositadas nas grades de saída (S).

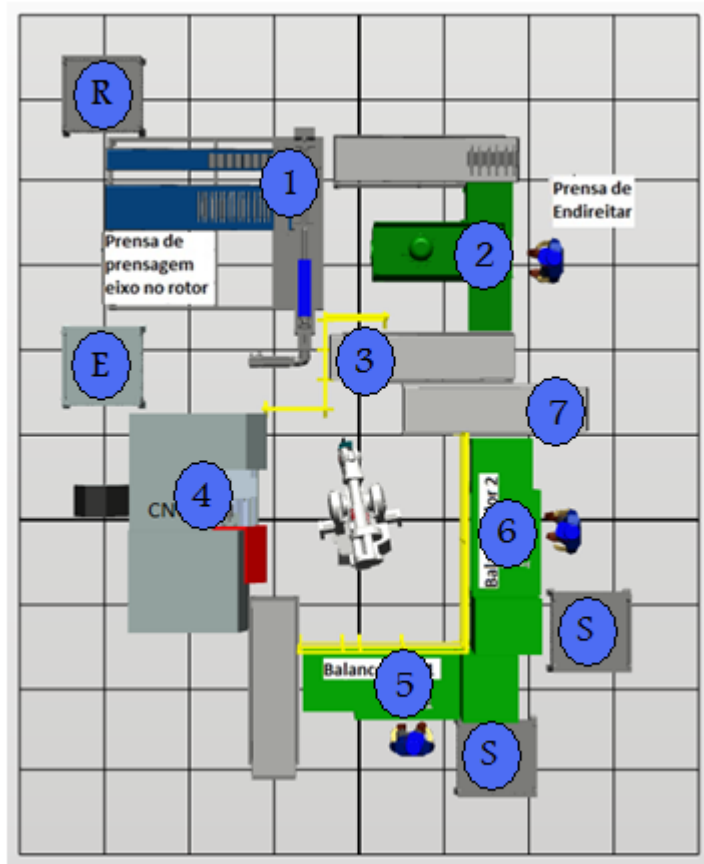


Figura 13: Layout Proposta II com indicações de fluxo de materiais

### 7.3: Simulações do novo sistema

Assim como para a Proposta I, foram realizadas simulações dos mecanismos robotizados e do ambiente produtivo em Plant Simulation.

#### 7.3.1: Modelagem do layout e parte gráfica do sistema

Uma vez que houvesse mudanças no layout um novo sistema simulado teve que ser criado. Esse sistema contém somente um torno CNC, possui alguns tempos diferentes daqueles implementados na primeira proposta, além de uma programação de movimentação do operador da prensa de endireitar e do robô diferente da utilizada na proposta anterior.

Para simular a medição do diâmetro externo do RC um novo posto de trabalho foi adicionado, além da calçada de ligação entre a prensa de endireitar e esse posto. A interface gráfica desse novo sistema é vista na Figura 14.

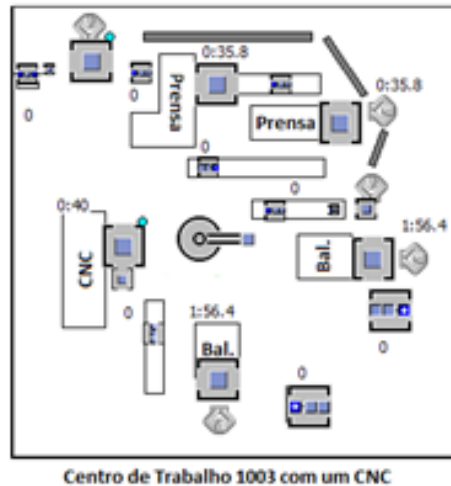


Figura 14: Simulação Plant Simulation Proposta II

### 7.3.2: Simulação do sistema robotizado

Assim como foi feito para a primeira proposta, uma simulação do sistema robótico foi realizada com o intuito de verificarmos os tempos e o funcionamento do sistema. Diferente da primeira proposta esse robô abastecerá somente um torno, como é previsto na Proposta II. Existem modificações também nas calhas de saída onde os RC já usinados serão depositados. A metodologia adotada para programação do robô foi a mesma utilizada na primeira proposta. Os tempos obtidos a partir dessa simulação estão presentes na Tabela 6.

Tempos de movimentação do robô				
De \ Para	Calha de entrada	CNC	Calha de saída 1	Calha de saída 2
Calha de entrada	...	4,43	...	...
CNC	...	...	4,4	4,5
Calha de saída 1	5,1	...	...	...
Calha de saída 2	4,56	...	...	...

Tabela 6: Tempos de movimentação do robô Proposta II

### 7.3.3: Determinação dos tempos das operações para simulação

A determinação dos tempos de cada operação foi baseada nos dados anteriormente apresentados. As modificações a serem realizadas em cada operação em relação à primeira proposta serão:

- Tempo de manipulação do robô: os tempos de manipulação que serão adotados seguem àqueles descritos na tabela 6.
- O tempo da operação de balanceamento será adotado como o atualmente utilizado, uma vez que os operadores não realizarão mais a medição do diâmetro externo do rotor.
- O tempo de medição anteriormente adotado para os operadores do equipamento de balanceamento agora será retirado dessa operação e acrescido ao tempo do operador da prensa de endireitar. Esse operador terá que se deslocar para a estação de medição, como pode ser visto na figura 15.

Os novos tempos adotados são mostrados na Tabela 7.

Proposta II				
Família	Prensagem	Endireitamento	Torneamento CNC	Balanceamento
1	32,193	20,160	30,180	81,600
2	39,186	35,840	34,538	116,400
3	39,186	35,840	39,576	116,400

Tabela 7: Tempos de processo Proposta II

## 7.4: Resultados e análises da simulação da segunda proposta

Simuladas simultaneamente as duas propostas e o sistema atual podemos analisar os dados obtidos e tirar conclusões sobre a Proposta II e compara-la com a Proposta I e com o sistema atual.

### 7.4.1: Análise de produtividade

Seguindo o exemplo de simulação da primeira proposta, foi realizada uma simulação de 1 dia de trabalho da célula. O resultado obtido é visto na Figura 15.

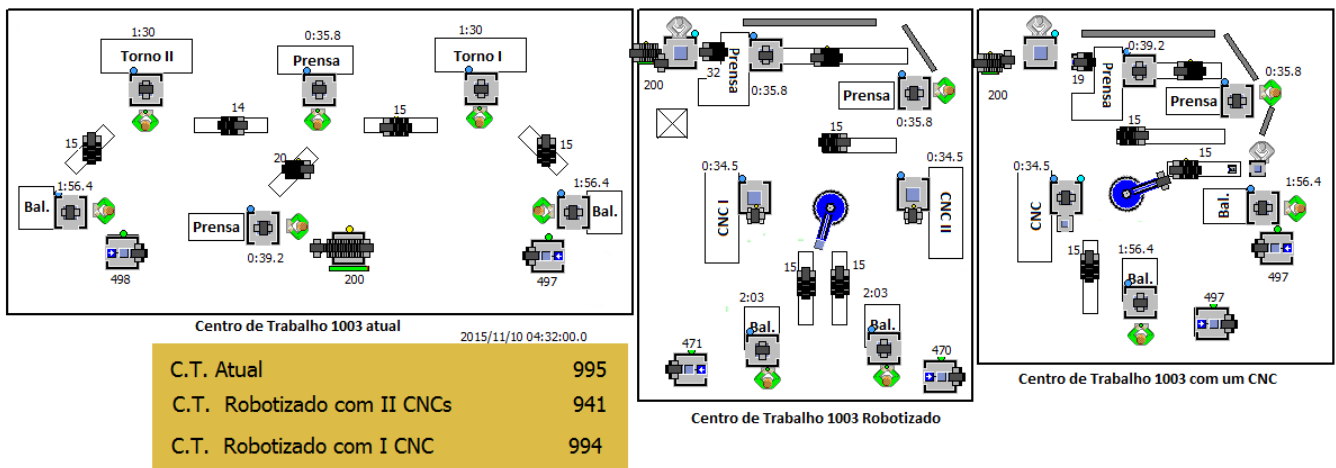
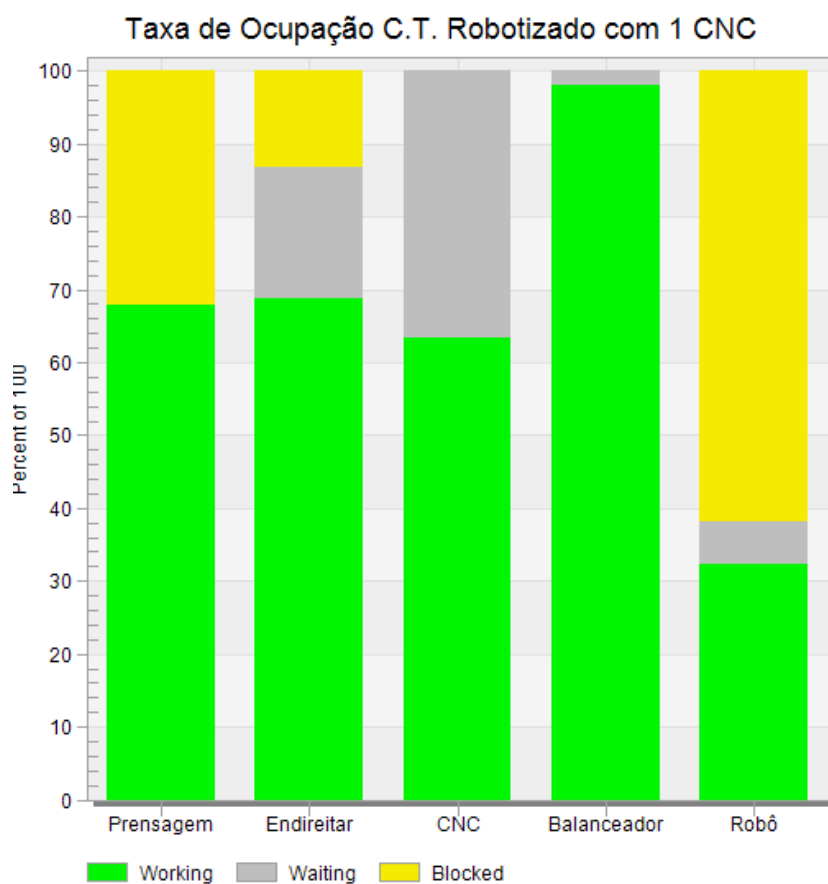


Figura 15: Resultados de simulações do sistema Atual, Proposta I e Proposta II

Conforme mostrado na Figura 15, a produção de um 1 dia de trabalho da Proposta II é na prática a mesma da célula atual. Isso se deve ao fato da operação gargalo do sistema continuar sendo o balanceamento e determinar o ritmo de produção. Diferente da Proposta I, a Proposta II não adiciona atividades à operação de balanceamento, portanto o tempo da ação mantém-se o mesmo da célula não automatizada não havendo, portanto, diminuição da produção em relação ao sistema atual. Verifica-se nesse ponto a viabilidade do projeto em relação à produtividade do sistema.

## 7.4.2: Análise das taxas de ocupação de operadores e máquinas da Proposta II

Conforme visto no gráfico 2, a taxa de ocupação do torno CNC era baixa na Proposta I. A Proposta II, que visa uma otimização de recursos, uma vez que faz uso de somente um torno CNC, mostrou-se viável produtivamente, como mostrado em 7.4.1. As taxas de ocupação das operações e operadores da Proposta II são vistas no Gráfico 3.



**Gráfico 3: Taxa de ocupação C.T. Robotizado com 1 CNC (Proposta II)**

O gráfico 3 mostra que a ocupação do torno CNC é maior do que anteriormente, sendo muito mais exigido e conseguindo atender a demanda. Conforme já discutido a operação de balanceamento continua sendo o gargalo e portanto é a operação que deve trabalhar 99% do tempo.

O gráfico 4 mostra um comparativo entre a ocupação dos tornos CNC das duas propostas.

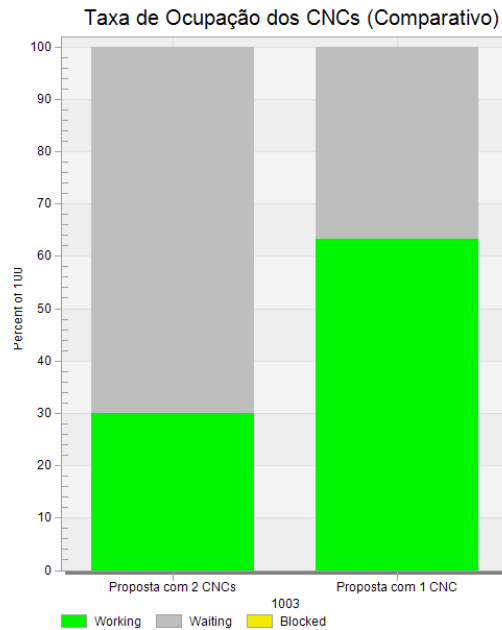
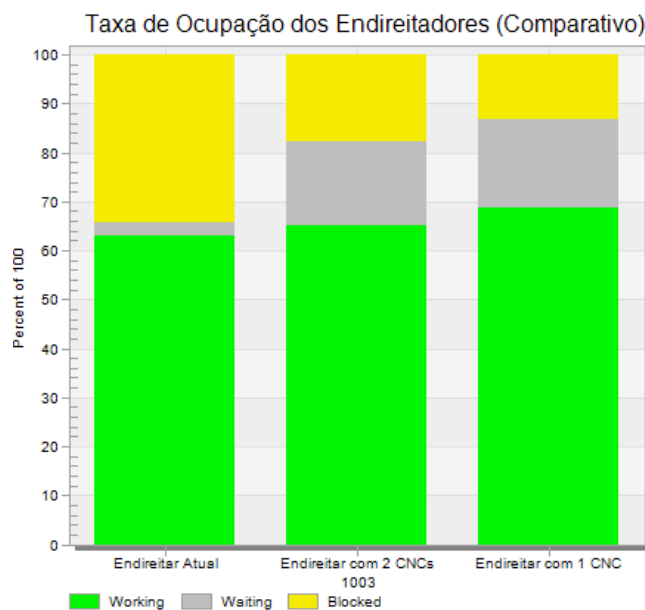


Gráfico 4: Comparativo das Taxas de Ocupação dos CNC entre as propostas

Vemos que conforme esperado a taxa de ocupação necessária para atendimento de demanda foi um pouco maior que o dobro, isso pois na Proposta II, conforme mostrado anteriormente, a produção é um pouco maior que a Proposta I, sendo assim, além do dobro de peças que passam pelo torno, ele ainda recebe as peças produzidas pela diferença entre a produção da Proposta II e da Proposta I.

O gráfico 5 mostra a taxa de ocupação do operador da prensa de endireitamento em relação ao sistema produtivo atual e as duas propostas. Esse comparativo é necessário devido a preocupação de não sobrecarregar o operador da prensa de endireitar, evitando que esse operador passe a ser o gargalo do sistema ou que ele seja tão exigido ao ponto de gerar problemas ergonômicos em suas atividades.



*Gráfico 5: Comparativo entre Taxas de Ocupação dos operadores de endireitamento*

O Gráfico 5 evidencia que apesar das atividades acrescentadas ao operador da prensa de endireitar ele ainda fica com uma ocupação de 65% e 68% para a Proposta I e Proposta II, respectivamente. Dessa forma os riscos relacionados à ergonomia tendem a serem baixos, quando analisamos os movimentos que exigem força e a repetição. No quesito produtividade, vemos que a produtividade dessa operação será a mesma.

Como elaborado no projeto, vemos que a Proposta II apresentou um resultado mais satisfatório e que atende os objetivos iniciais do projeto. No Capítulo 8 veremos as conclusões gerais do projeto, as perspectivas de sua implantação e sugestões para continuação do trabalho realizado.



## Capítulo 8: Conclusões e Perspectivas

Os objetivos iniciais do projeto foram atingidos, conseguiu-se de forma satisfatória reduzir principalmente os riscos ergonômicos presentes na célula sem que houvesse em fase de projeto uma perda produtiva, além da grande tendência de melhoria em qualidade, segurança e possível aumento produtivo.

O projeto tratado nesse documento obteve também grande aceitação por parte da equipe de engenharia industrial WEG. A utilização de ambientes simulados traz vários benefícios principalmente quando se quer “vender uma ideia”, dessa forma consegue-se ver como o sistema funcionará quando implementado, e assim como discutido no decorrer deste documento, consegue-se prever o comportamento do sistema e evitar gastos desnecessários, realizar melhorias em métodos e evitar desperdício de tempo e dinheiro à empresa.

O investimento a ser realizado em todo sistema tem potencial para ser retornado como forma de redução de custos na produção em torno de 3,5 anos, o que é considerável aceitável pela ordem de grandeza do custo previsto.

No momento a proposta de automação da célula aguarda para ser aprovado perante a comissão de diretores da empresa e caso isso ocorra, e é provável que isso aconteça, haverá uma especificação mais técnica e aprofundada dos mecanismos.

Como atividades futuras, prevê-se a implementação prática do sistema produtivo simulado e expansão da ideia da célula proposta para novos centros de trabalho, aumentando cada vez mais o nível de automação da produção WEG.

Como visto neste documento, as propostas realizadas não conseguiram aumentar a produtividade horária da célula, isso por que a operação gargalo é a última realizada na célula. Um projeto a ser desenvolvido poderia tratar da melhoria da operação de balanceamento, diminuindo o tempo da operação e aumentando a produtividade, ou mesmo o desmembramento dessa operação da célula.

## Bibliografia:

[1] Associação Brasileira de Ergonomia,  
<http://www.portaleducacao.com.br/fisioterapia/artigos/10546/ergonomia>, acessado em 14/11/2015.

[2] Silveira, Lima, “Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial”, p.2, Natal-RN, 2003.

[3] Pires, “Realização de Controlo de Força em Robôs Manipuladores Industriais”, p. 28,Coimbra, 1999.

[4] Siemens – Tecnomatix Plant Simulation  
[http://www.plm.automation.siemens.com/pt\\_br/products/tecnomatix/plant\\_design/plant\\_simulation.shtml](http://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/products/tecnomatix/plant_design/plant_simulation.shtml), acessado em 14/11/2015.

# Apêndice A

## Código Plant Simulation (Robô)

```
is
do
  if ?.empty then
    return;
  end;

  if ?.var2 < 3 then

    if @.LastStation = Buffer then

      if ?.var = 0 then
        ?.setDestination(CNC_I, false);
        ?.var := 1;
        Buffer.ExitLocked := false;
        Troca1.ExitLocked := true;
        Troca2.ExitLocked := true;
        ?.var2 := ?.var2 + 1;

      else
        ?.setDestination(CNC_II, false);
        ?.var := 0;
        Buffer.ExitLocked := false;
        Troca1.ExitLocked := true;
        Troca2.ExitLocked := true;
        --CNC_I.EntranceLocked := true;
        ?.var2 := ?.var2 + 1;

      end;

    end;

  end;

  if ?.var2 = 3 then
    if @.LastStation = Buffer then

      if ?.var = 1 then
        ?.setDestination(CNC_I, false);
        ?.var := 0;
        Buffer.ExitLocked := true;
        Troca1.ExitLocked := false;
        Troca2.ExitLocked := true;

      else
        ?.setDestination(CNC_II, false);
        ?.var := 1;
        Buffer.ExitLocked := true;
        Troca1.ExitLocked := true;
        Troca2.ExitLocked := false;

      end;

    end;

  end;

end;
```

```
end;

if @.LastStation = Troca1 then
    ?.setDestination(Calha_Out_I, false);
    Buffer.ExitLocked := false;
    Troca1.ExitLocked := true;
    Troca2.ExitLocked := true;
end;

if @.LastStation = Troca2 then
    ?.setDestination(Calha_Out_II, false);
    Buffer.ExitLocked := false;
    Troca1.ExitLocked := true;
    Troca2.ExitLocked := true;

end;
end;
end;
```

## Apêndice B

### Código Plant Simulation (Operador prensa de endireitar)

```
is
do
    if PlaceBuffer.numMUParts < 15 or recarregar = true then

        Carregar_Buffer.EntranceLocked := false;
        Endireitar1.EntranceLocked := true;
        if
            PlaceBuffer.numMUParts < PlaceBuffer.Capacity then
                recarregar := true;
            else
                recarregar := false;
            end;
        end;
    end;
    if recarregar = false then
        Carregar_Buffer.EntranceLocked := true;
        Endireitar1.EntranceLocked := false;
    end;
end;
```

# Apêndice C

## Programa RobotStudio – Proposta I

MODULE Module1

PERS tooldata tool02:=[TRUE,[[0,0,0],[1,0,0,0]],[0.001,[0,0,0.001],[1,0,0,0],0,0,0]];

CONST robtarget Target\_20:=[[923.099854353,34.282463069,1187.414731982],[0.38995076,-0.208558194,0.894422376,-0.066712047],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_10:=[[1608.493109177,34.282117385,1187.414517512],[0.389950839,-0.208558033,0.894422376,-0.066712092],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Pega\_Calha\_In:=[[1608.493102214,34.282096767,812.733714983],[0.389950471,-0.208558354,0.894422451,-0.066712228],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_40:=[[250.834821554,781.627292066,1088.706057407],[0.2374844,0.371562704,-0.698490781,-0.563607084],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_30:=[[250.835087722,999.956442396,1088.706509495],[0.23748407,0.371562568,-0.698490884,-0.563607186],[0,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget

Pega\_Torno\_1:=[[250.835242356,1335.508479305,1088.706071977],[0.237484107,0.371562304,-0.698491248,-0.563606892],[0,1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_60:=[[250.17017292,733.382154673,1066.62382528],[0.579392443,-0.67816408,-0.40461531,0.201703568],[0,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_50:=[[250.170027069,1036.202064619,1066.623820473],[0.579392661,-0.678163765,-0.404615571,0.201703475],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Coloca\_Torno\_1:=[[250.169912996,1307.292365283,1066.624436166],[0.579392756,-0.678163555,-0.404615819,0.201703411],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_160:=[[[-575.63662479,689.855217733,1193.447750723],[0.322052237,0.77329619,-0.495701843,0.229292483],[1,0,4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarget Target\_70:=[[[-1523.482110235,689.855722315,1193.447613041],[0.322052192,0.773295956,-0.495702052,0.229292881],[1,0,4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Coloca\_Calha\_1:=[[-1523.481833647,689.855519133,1001.33675925],[0.322052469,0.773295985,-0.495701891,0.229292742],[1,0,4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_170:=[[-557.016830266,434.436590485,1187.414555827],[0.389950544,-0.208558891,0.894422249,-0.066712842],[0,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_180:=[[-721.543197999,-250.109389996,1187.414600733],[0.389950514,-0.208558257,0.894422491,-0.066711755],[-1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_120:=[[-630.252770117,-610.469535706,1187.415158219],[0.389950981,-0.208556984,0.89442258,-0.066711808],[-1,0,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_190:=[[-155.382593614,-610.469207227,1187.416425692],[0.825383364,0.358692337,0.435529194,0.019910578],[-2,1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_200:=[[-155.382096835,-1021.044311277,1187.416033458],[0.825383581,0.358692457,0.435528663,0.019911018],[-2,1,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Pega\_Torno\_2:=[[-193.119420002,-1333.001970233,906.750806012],[0.825384254,0.358691984,0.435527854,0.019909347],[-2,1,-2,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_210:=[[-211.027615432,-610.469512844,1187.416457515],[0.118147068,-0.437471819,0.602443237,-0.65705542],[-2,0,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_220:=[[-211.027881005,-1059.903127612,1187.416395568],[0.095482507,-0.41649688,0.617129941,-0.660729956],[-2,1,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Coloca\_Torno\_2:=[[-205.792762578,-1294.657775118,1017.492375509],[0.095481557,-0.416495521,0.617129958,-0.660730935],[-2,1,-3,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_230:=[[-731.957586481,-610.469713208,1187.414673404],[0.305888279,0.824254381,-0.444988807,0.170358558],[-2,0,-4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Target\_240:=[[-1494.928009316,-712.373919236,1187.416083101],[0.333374735,0.813525454,-0.439022741,0.185193561],[-2,0,-4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

CONST robtarg Coloca\_Calha\_2:=[[-1494.927161698,-712.37413472,971.087719994],[0.343929392,0.809120579,-0.436575221,0.19088881],[-2,0,-4,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

PROC main()

```
SetDO Fecha_Porta_1,0;
SetDO Fecha_Porta_2,0;
MoveL Target_20,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_10,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Pega_Calha_In,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_10,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_20,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_40,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_30,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Pega_Torno_1,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_30,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_40,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_60,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_50,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Coloca_Torno_1,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_50,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_60,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_160,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
SetDO Fecha_Porta_1,1;
MoveL Target_70,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Coloca_Calha_1,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
SetDO Fecha_Porta_1,0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_70,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_160,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_60,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_170,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_20,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_10,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Pega_Calha_In,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 2;
MoveL Target_10,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_20,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_180,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_120,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
```



```
MoveL Target_190,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_200,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Pega_Torno_2,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_200,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_190,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_210,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_210,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_220,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Coloca_Torno_2,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_220,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_210,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_230,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
SetDO Fecha_Porta_2,1;
MoveL Target_240,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
SetDO Fecha_Porta_2,0;
MoveL Coloca_Calha_2,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
WaitTime 1.5;
MoveL Target_240,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_230,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_120,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_180,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
MoveL Target_20,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
ENDPROC
```

ENDMODULE

## Programa RobotStudio – Proposta II

MODULE Module1

```
PERS tooldata tool02:=[TRUE,[[0,0,0],[1,0,0,0]],[0.001,[0,0,0.001],[1,0,0,0],0,0,0]];
PERS wobjdata wobj03:=[FALSE,TRUE,"",[[0,0,0],[1,0,0,0]],[[0,0,0],[1,0,0,0]]];
CONST robtarget Target_20:=[[1910.567018713,154.972677592,1143.94568052],[0.386619322,-
0.21582298,0.893131251,-0.07913602],[0,-1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_30:=[[762.002940318,154.972983233,1143.946269617],[0.386619367,-
0.215823342,0.89313114,-0.079136065],[0,-1,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_40:=[[201.293440742,680.979522936,1143.946093511],[0.156546879,0.399138195,-
0.621992917,-0.655214917],[0,1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_50:=[[193.81420147,1318.480604942,1034.648978114],[0.156547121,0.399137145,-
0.62199275,-0.655215657],[0,1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget
Target_60:=[[314.121146667,1318.481188336,1034.649036356],[0.156547013,0.399137126,-0.621992838,-
0.655215611],[0,1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_110:=[[107.731568559,1294.440809678,1005.519780925],[0.678312,-0.605678784,-
0.410116327,0.069646532],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_120:=[[206.96658697,1294.441381595,1005.519953739],[0.678312247,-
0.605678981,-0.41011559,0.069646745],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_130:=[[206.966352277,698.686183784,1005.519609798],[0.678312125,-
0.605678888,-0.410115904,0.069646895],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_70:=[[314.121525264,670.404638909,1034.648771631],[0.156546882,0.399137176,-
0.621993022,-0.655215437],[0,1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_80:=[[314.121478111,670.404874922,1034.64941874],[0.663570277,-0.607741707,-
0.433563858,0.048444671],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_90:=[[314.122933121,1294.439895628,1005.519449654],[0.67831185,-
0.605678669,-0.410116814,0.069646131],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_100:=[[215.71506099,1294.440555651,1005.519520297],[0.678312217,-
0.605678188,-0.410116941,0.069645976],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_140:=[[[-628.960699386,698.68645022,1205.12379902],[0.446558585,0.771026039,-
0.453542916,0.020077384],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_150:=[[[-
961.48423538,998.480154746,1205.123995035],[0.441695406,0.773821218,-
0.453662095,0.017221905],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_160:=[[[-
1031.346826376,998.479125698,935.159615101],[0.422822827,0.815445524,-
0.393031169,0.042378713],[1,0,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]]];
```

```

CONST robtarget Target_170:=[[ -
1031.346818538,998.478977632,1586.036177202],[0.422823412,0.815445061,-
0.393031456,0.042379117],[1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_180:=[[ -299.428488547,492.087688324,1150.653514162],[0.243105958,-
0.096207783,-0.889584149,-0.374544519],[1,-1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_190:=[[349.244128796,492.087867595,1150.653450715],[0.24310569,-
0.096207801,-0.889584004,-0.374545035],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_200:=[[600.640692003,266.171416319,1005.520209723],[0.164500248,-
0.464941491,-0.775398216,-0.394368717],[0,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_210:=[[858.74620422,-
353.874847741,1270.785616872],[0.139293285,0.879245531,0.258082222,0.375390789],[ -
1,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_220:=[[1301.742390228,-
613.944210583,1270.786920322],[0.13929341,0.879245608,0.258081715,0.375390909],[ -
1,0,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_230:=[[1308.130545739,-
664.488918897,955.331096201],[0.154114528,0.888815715,0.22290354,0.369552903],[ -
1,0,0,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_240:=[[178.930266622,1312.357907021,1005.521029203],[0.675221143,-
0.58985849,-0.43256,0.095053758],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_10:=[[1910.566954811,154.972646445,804.263367906],[0.386618466,-
0.215823159,0.893131578,-0.079136024],[0,-1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Inicio:=[[411.795459999,-34.833367715,1178.954827633],[0.393291489,-
0.125633148,0.902484283,-0.122720148],[-1,-1,-1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];
CONST robtarget Target_250:=[[254.718590341,1312.35849586,1005.521422333],[0.675221312,-
0.589858332,-0.432560033,0.095053386],[0,1,1,0],[9E9,9E9,9E9,9E9,9E9,9E9]];

```

```

PROC main()

```

```

    MoveL Inicio,v3000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    SetDO Fecha_Porta_1,0;
    MoveL Target_20,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    MoveL Target_10,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    WaitTime 1.5;
    MoveL Target_20,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    MoveL Target_30,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    MoveL Target_40,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    WaitDI Porta_1_Aberta,1;
    MoveL Target_50,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;
    WaitTime 1.5;
    MoveL Target_60,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;

```

MoveL Target\_70,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_80,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_90,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_250,v200,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_240,v200,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitTime 3.5;  
MoveL Target\_120,v200,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_130,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
SetDO Fecha\_Porta\_1,1;  
WaitTime 0.5;  
MoveL Target\_140,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_150,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_160,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitTime 1.5;  
MoveL Target\_170,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_180,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_190,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;

MoveL Inicio,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
SetDO Fecha\_Porta\_1,0;  
MoveL Target\_20,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_10,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitTime 1.5;  
MoveL Target\_20,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_30,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_40,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitDI Porta\_1\_Aberta,1;  
MoveL Target\_50,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitTime 1.5;  
MoveL Target\_60,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_70,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_80,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_90,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_250,v200,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_240,v200,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitTime 3.5;  
MoveL Target\_120,v500,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target\_130,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
SetDO Fecha\_Porta\_1,1;  
MoveL Target\_200,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;

```
MoveL Target_210,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target_220,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target_230,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
WaitTime 1.5;  
MoveL Target_220,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Target_210,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;  
MoveL Inicio,v1000,z100,tool0\WObj:=wobj0;
```

```
ENDPROC  
ENDMODULE
```