

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS (FCA)

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL HENRIQUE MACIEIRA

MELHORIAS DE LAYOUT E A INFLUÊNCIA DA SIMULAÇÃO:

UMA APLICAÇÃO DIRETA EM FÁBRICA

LIMEIRA-SP, 19 DE NOVEMBRO DE 2014

GABRIEL HENRIQUE MACIEIRA

MELHORIAS DE LAYOUT E A INFLUÊNCIA DA SIMULAÇÃO:
UMA APLICAÇÃO DIRETA EM FÁBRICA

Trabalho de Graduação submetido à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro de Produção. Sob a orientação do Professor Doutor Aníbal Tavares de Azevedo.

LIMEIRA-SP. 19 DE NOVEMBRO DE 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA *PROF. DR. DANIEL JOSEPH HOGAN* DA
FACULDADE DE CIÊNCIAS APLICADAS

M187m Macieira, Gabriel Henrique
Melhorias de layout e a influência da simulação: uma aplicação direta em
fábrica / Gabriel Henrique Macieira. - Limeira, SP: [s.n.], 2014.
39 f.

Orientador: Aníbal Tavares de Azevedo.
Monografia (Graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de
Ciências Aplicadas.

1. Usinagem. 2. Otimização. 3. Rotores. 4. Células de fabricação. 5. Engenharia
de produção. I. Azevedo, Aníbal Tavares de. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Ciências Aplicadas. III. Título.

Título em inglês: Layout improvements and the influence of simulation: a direct application
in factory.

Keywords: - Machining shop;

- Optimization rights;

- Impellers;

- Manufacturing cells;

- Engineering production.

Titulação: Bacharel em Engenharia de Produção.

Banca Examinadora: Prof. Dr. Aníbal Tavares de Azevedo.

Prof^a. Dr^a. Carla Tavianne Lucke da Silva Ghidini.

Data da defesa: 19/11/2014.

GABRIEL HENRIQUE MACIEIRA

MELHORIAS DE LAYOUT E A INFLUÊNCIA DA SIMULAÇÃO:

UMA APLICAÇÃO DIRETA EM FÁBRICA

Trabalho de Graduação submetido à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro de Produção. Sob a orientação do Professor Doutor Aníbal Tavares de Azevedo. Este trabalho foi apresentado no dia 19/11/2014 às 14h e foi aprovado pelos avaliadores abaixo.

FICHA DE APROVAÇÃO

LIMEIRA-SP, 19 DE NOVEMBRO DE 2014

***“Dedico este trabalho a todos que
participaram da minha vida e me
apoiam e me incentivaram em tudo”***

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, eu gostaria de agradecer a Deus, que me deu a oportunidade de cursar o curso que eu sempre quis, em uma grande universidade como a UNICAMP. Deus sabe o quanto eu batalhei para chegar neste nível, alcançado por poucos.

Gostaria de agradecer a minha família, que sempre me incentivou nos estudos e sempre teve total confiança em mim e acreditaram no meu potencial. Se eu cheguei até aqui, eu devo tudo a eles, que financiaram a minha educação durante esses últimos 5 anos e que me apoiaram nos momentos mais difíceis da minha vida acadêmica, profissional e pessoal.

Quero agradecer a UNICAMP, que me proporcionou nestes últimos 5 anos uma qualidade excepcional de ensino e infraestrutura. Eu vi e participei da construção do campus de Limeira, e eu me sinto um privilegiado de ter estado nesta universidade.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos que me acompanharam nesta jornada. Vocês são muito importantes para mim. Vocês que me incentivaram, que estudaram comigo, que vararam noites para uma prova, que comemoram comigo nos momentos felizes e que me deram forças nos momentos tristes. A todos vocês que participaram da minha vida e me viram crescer de alguma forma, eu demonstro a vocês todo o carinho do mundo.

Gostaria de agradecer a todos os professores que passaram na graduação e que contribuíram de alguma forma no meu crescimento profissional. Quero agradecer especialmente aos professores Aníbal Azevedo e Cristiano Torezzan que me apresentaram o mundo da simulação computacional, base deste trabalho, e que me fizeram enxergar nesta ferramenta uma grande oportunidade profissional.

Gostaria de agradecer a empresa Sulzer por ter me dado à oportunidade de realizar este trabalho de graduação dentro da empresa, sempre me respaldando com total apoio e informação.

Por fim, termino esta jornada na esperança de iniciar uma próxima com a mesma dedicação e apoio que eu tive nesta.

***“Of the blessings set
before you, make your
choices and be content”***

Samuel Johnson

RESUMO

Este trabalho consiste em um estudo para reformulação do layout da usinagem de uma empresa multinacional fabricante de bombas centrífugas.

De acordo com a decisão estratégica da alta gerência da empresa, ficou definido que a criação de uma célula de produção de rotores dentro da usinagem seria importante para atender com maior velocidade e flexibilidade a demanda internacional de rotores. Esta célula irá diminuir os atrasos na produção, aumentando a taxa de produtos entregues na data certa, e assim, aumentando a confiabilidade dos clientes.

Antes de se iniciar a mudança de layout, foram estudados a disposição física dos maquinários, o caminho percorrido pelas famílias dos mais variados produtos, a fim de verificar a concorrência por recursos dentro da fábrica, o quanto um rotor percorre dentro da usinagem e seu lead time de produção.

Com base, nesses dados, foi possível estabelecer a nova disposição física das máquinas que atendesse a produção de rotores, modificando assim o layout da fábrica em geral. Através de recursos de simulação computacional, foi possível otimizar o percurso do rotor, minimizando a distância percorrida. As ferramentas de simulação serviram para validar o novo layout.

PALAVRAS CHAVES: USINAGEM – OTIMIZAÇÃO – ROTORES – CÉLULAS DE FABRICAÇÃO – ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ABSTRACT

This work presents a study to redesign the layout of machining shop of a multinational company of centrifugal pumps.

According to the strategic decision of the top management of the company, it was determined that the creation of a production cell of impellers into the machining shop will be important to supply with speed and flexibility the international demand for impellers. This cell will reduce delays in production, increasing the rate of product delivered at the right time, thus increasing the reliability of customers.

Before starting layout change, we were studied the physical layout of machining shop, the path taken by households of various products in order to check the competition for resources within the machining operation. It was also found the distance that a impeller runs inside the factory and its lead time of production.

Based on those data, it was possible to establish the new layout of machines that met the production of rotors, thus modifying the layout of the plant in general. Resources through computer simulation, it was possible to optimize the route of the impeller, minimizing the distance traveled. Simulation tools were used to validate the new layout.

KEY WORDS: MACHINING SHOP – OPTIMIZATION RIGHTS – IMPELLERS – MANUFACTURING CELLS – ENGINEERING PRODUCTION

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
OBJETIVOS.....	18
METODOLOGIA.....	18
ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL.....	19
SIMULAÇÃO DO LAYOUT.....	29
CONCLUSÃO.....	37
BIBLIOGRAFIA.....	39

INTRODUÇÃO

Reformulação de layout historicamente sempre foi muito estudado pelas organizações, quando o foco estratégico é alterado. O uso da simulação é uma ferramenta interessante para se analisar os diferentes cenários do impacto produtivo, quando se realiza mudanças no layout, das mais simples, as mais complexas.

A empresa Sulzer Brasil SA, será o foco de estudo deste trabalho. A Sulzer é uma organização multinacional suíça, sendo sua matriz em Winterthur. No Brasil, a sede produtiva localiza-se em Jundiaí, interior do estado de São Paulo. O core business da empresa é a produção de bombas centrífugas “engenheiradas”, fabricadas de acordo com as necessidades dos clientes.

O centro produtivo divide-se basicamente em três macro setores: fundição, usinagem e montagem.

Além das vendas de bombas completas, a Sulzer vende também, componentes das bombas isoladamente. Mais especificamente, a empresa vende muitos rotores. O rotor pode ser considerado a peça mais importante de uma bomba, pois é a parte que irá impulsionar o fluído e garantir a sua eficiência. No entanto, estes rotores possuem uma vida útil de aproximadamente 10 anos. Portanto, a demanda existe. Por ser um produto feito sob especificação do cliente, a sua manufaturabilidade é complexa e demanda tempo. Em média, o produto passa três semanas na fundição e mais uma semana na usinagem, considerando as filas envolvidas.

Procurando aumentar a OTD (on time delivery) da organização, ou seja, diminuir o atraso nas entregas dos rotores, aumentando assim, a confiabilidade de seus clientes e por consequência a qualidade dos produtos, foi proposto pela alta diretoria, a criação de uma célula dentro da usinagem, especificamente para a produção de rotores. A ideia é que este componente concorra com recursos somente entre eles, e assim conseguir diminuir o lead time de três semanas.

A fim de comprovar a legitimidade de uma criação de uma célula de produção de rotores, foram estudados a demanda da organização em vendas

de rotores para o exterior, sendo eles os maiores clientes em peças isoladas. Foi realizado o levantamento da quantidade de rotores vendidos no último ano para cada cliente em potencial.

Os clientes com maior potencial, são:

- Alemanha;
- Índia;
- Estados Unidos;
- México

Abaixo, nas figuras de 1 a 4, será levantada a demanda de rotores para estes países.

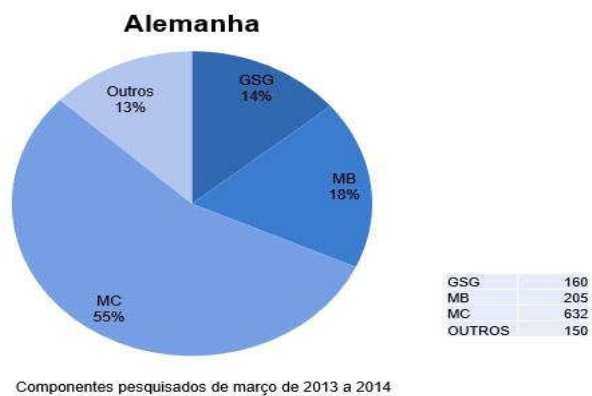


Figura 1. Venda de Rotores para a Alemanha

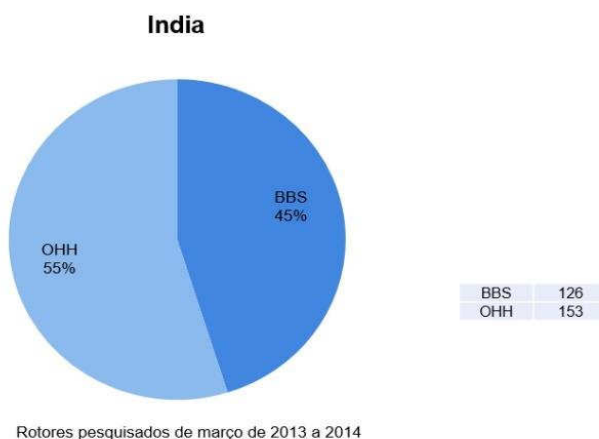


Figura 2. Venda de Rotores para a Índia.

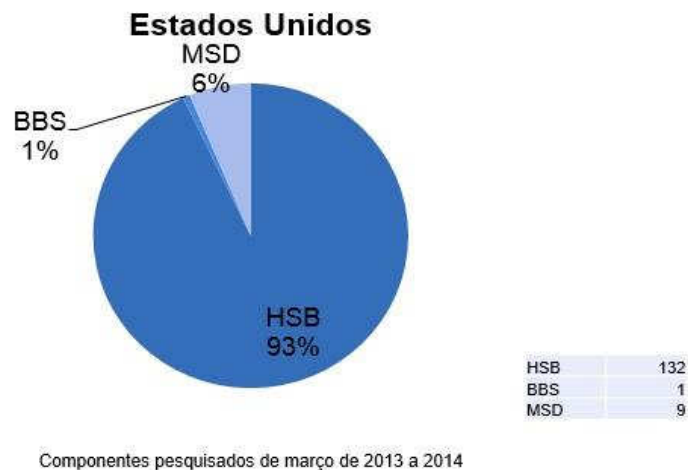


Figura 3. Venda de Rotores para os Estados Unidos

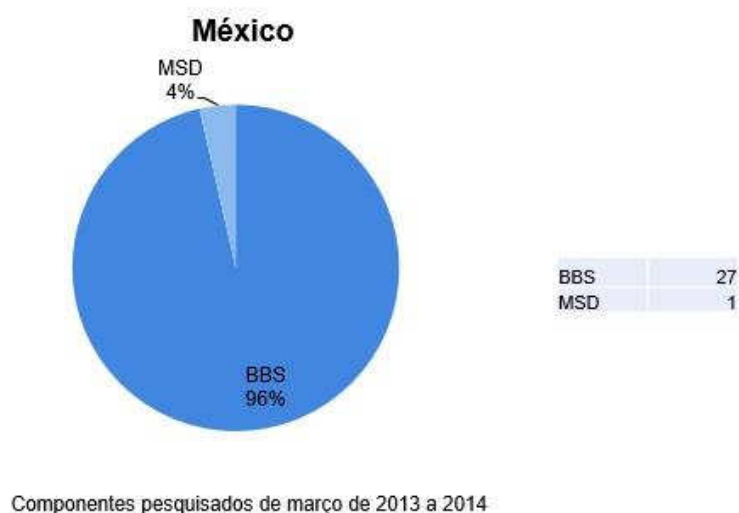


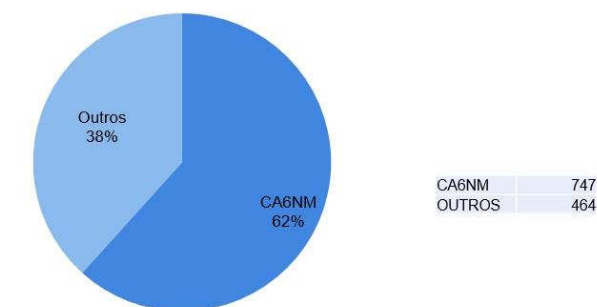
Figura 4. Venda de Rotores para o México

Observa-se uma venda considerável de rotores para todos os países, em especial para a Alemanha, que no período considerado adquiriu 1147 rotores. A Alemanha é o maior cliente quando se trata em compra de rotores.

De todos os rotores vendidos para esses quatro clientes, 72% foram para a Alemanha, que possui uma demanda altíssima. O rotor mais vendido é o rotor MC, utilizados em bombas multe estagio. Este rotor será tomado como base para nossos cálculos de processamento e simulação.

Verificando a composição química dos rotores vendidos, a fim de averiguar a repetibilidade e garantir que o rotor estudado se encontra entre os mais vendidos, observa-se na figura 5, que a maior parte dos rotores são feitos da mesma liga: CA6NM.

Componentes Utilizados em Rotores



Componentes pesquisados de março de 2013 a 2014

Figura 5. Composição química dos rotores

Portanto, para fins de simulação este rotor será utilizado para averiguação do tempo de processamento e organização dos centros de trabalho.

O uso das teorias de layout e simulação serão de grande importância para validar este estudo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O arranjo físico (layout) de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento físico dos recursos de transformação. Em outras palavras, definir o arranjo físico é decidir onde colocar as instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da produção. É uma das características mais evidentes de uma operação produtiva, pois determina sua forma e aparência. O arranjo físico determina também a maneira segundo a qual estes recursos fluem pela operação (GONÇALVES FILHO, 2005).

O layout de uma fábrica é produto de milhares de decisões, passadas e presentes. É a manifestação física da estratégia de produção da empresa (LEE QUARTERMAN, 1998).

Um bom projeto de arranjo físico pode visar tanto eliminar atividades que não agregam valor como enfatizar atividades que agregam. (CORRÊA E CORRÊA, 2004).

A maioria dos arranjos físicos em termos práticos é derivado de apenas quatro tipos básicos de arranjo, a saber: arranjo físico posicional, arranjo físico por processo, arranjo físico celular e arranjo físico por produto (SLACK; NIGEL, 2002).

O arranjo físico por produto envolve localizar os recursos produtivos transformadores inteiramente segundo a melhor conveniência do recurso que está sendo transformado. As vantagens da seleção do arranjo físico por produto são os baixos custos unitários para altos volumes, oportunidade para especialização de equipamentos e uma movimentação conveniente de materiais. Suas desvantagens são: a baixa flexibilidade e a pouca robustez contra interrupções, além de tornar o trabalho repetitivo. (TOMPKINS et al, 2003). Esta abordagem não se encaixa neste trabalho, pois não há vantagem em se possuir um layout para altos volumes e baixa flexibilidade, visto que os rotores a serem produzidos possuem variações em liga, dimensão e forma.

Segundo Camarotto, Menegon (2006), o arranjo físico posicional é caracterizado por um arranjo espacial onde o material a ser trabalhado (peça, parte ou item) permanece parado enquanto que os operadores e os equipamentos se movimentam ao seu redor. Para Silva (2009), este é um tipo muito particular de layout e, normalmente, é utilizado na fabricação de produtos de grande porte ou produtos que permanecerão fixos no local de fabricação. Exemplos: prédios, pontes, navios, etc. No caso da produção contínua de rotores, este clássico tipo de layout não se aplica.

No arranjo físico por processos, os equipamentos são agrupados em função da similaridade de suas operações no processo de produção, independente do produto processado. É característico deste tipo de arranjo o agrupamento de máquinas semelhantes formando departamentos ou setores de processos com nomenclatura bastante comum nas fábricas. Nestas configurações não se identifica a fábrica, ou seus setores, pelos produtos fabricados, mas pelos seus processos (CAMAROTTO, MENEGON, 2006).

Podemos considerar que atualmente a produção de rotores encontra-se nesta configuração de layout, sendo que a modificação para outro tipo de arranjo torna-se válida visto que desejamos maior velocidade na produção de rotores, devido a nova estratégia adotada pela empresa

O arranjo físico do tipo célula, de acordo com Rother e Harris (2002), é definida como um arranjo de pessoas, máquinas, materiais e métodos em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem sequencial, através da qual as partes são processadas em fluxo contínuo. Os componentes processados são agrupados em famílias (similaridade de formas e/ou dimensões e/ou processos). O layout físico de uma célula em “U” é o mais conhecido, mas muitas formas variadas são possíveis.

No estudo de rotores, o tipo de arranjo físico mais adequado é do tipo celular, visto que os componentes processados estão agrupados em famílias de forma, dimensão e processos, sequenciados de maneira lógica e com fluxo contínuo. Desde o princípio, a alta gerência definiu que seria interessante uma célula, no entanto verificando as teorias de layout clássicas, verifica-se que o layout celular é o mais válido. Nas considerações deste trabalho, será levado em consideração a reformulação de layout utilizando o princípio do layout celular.

Segundo Camarotto, Menegon 2006, existem vários pontos a serem observados na reformulação de um layout:

- Local para movimentação de empilhadeiras e paleteiras;
- Local para armazenamento de matéria prima.
- Definição do fluxo percorrido pelas peças e produtos;
- Definição de corredores para as pessoas;
- Definição do espaço necessário para as máquinas;
- Área de entrada de matéria prima;
- Área necessária para o operador desempenhar suas atividades;
- Área de ferramentas e dispositivos;
- Local para armazenamento de produtos acabados;
- Melhor sequência para fluir as peças, preocupando – se em minimizar distâncias de operações e agilizar o processo;

De acordo com Torres (2001), atualmente três tipos de ferramentas computacionais têm sido mais usadas no desenvolvimento de projetos de plantas industriais:

- Ferramentas de Projeto Auxiliado por Computador (CAD): usado para representar as plantas dos projetos e também para representação tridimensional do layout. Também podem ser usadas para análise de design de novos produtos.
- Ferramentas de Simulação de Sistemas de Eventos Discretos: esses softwares são aplicados para a análise dos processos produtivos e da programação da produção, principalmente do desempenho deles. Com esse tipo de ferramenta pode-se analisar os efeitos dos processos ou da programação da produção sobre um layout e vice-versa.
- Ferramentas de Simulação Humana: softwares que foram desenvolvidos para analisar o elemento humano em seu posto de trabalho, visando tornar os projetos desses postos mais adaptados ao homem, reduzindo os problemas de interação homem-espaco de trabalho.

Neste trabalho focaremos nos estudos de ferramentas de simulação e a influência delas na reformulação de um layout.

Segundo Chwif e Medina (2006), os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devido, principalmente, a sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (que é regida por variáveis aleatórias). Neste caso, o modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno.

Neste trabalho, será utilizado o software de simulação ProModel para reproduzir os cenários das possíveis reformulações de layout. Este software é um dos mais avançados programas de simulação de eventos discretos que permite tomar decisões rapidamente. Ele é utilizado para planejar, projetar e melhorar novos e atuais processos de manufatura, logística, serviços e outros sistemas estratégicos, táticos ou operacionais. Ele permite reproduzir a complexidade de processos reais, incorporando a variabilidade e

interdependências que possibilita realizar poderosas análises e mudanças e, assim, otimizar sistemas e melhorar indicadores.

OBJETIVOS

A partir do momento que foi verificado a importância da criação de uma célula de rotores e foi constatado a demanda do mesmo, o estudo para se verificar as condições físicas do local, a necessidade de investimento e a comprovação da melhora do layout se torna fundamental para uma implementação de sucesso

Este trabalho possui alguns objetivos, entre eles:

- Verificar o impacto de outras famílias de produtos pensando em uma mudança de layout;
- Esquematizar o novo layout para a produção de rotores;
- Otimizar o layout, minimizando as distâncias percorridas pelas peças
- Verificar a necessidade de investimentos;
- Corroborar o estudo com uma simulação computacional;

METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas etapas:

- 1) A primeira etapa consiste na análise atual.

Esta análise mostrará o impacto na mudança de layout para a criação da célula de rotores. Inicialmente, serão levantadas as famílias de peças que possuem maior repetibilidade de produção. Em seguida uma peça arbitrária destas famílias será rastreada por um dispositivo GPS, que irá indicar o percurso percorrido na sua produção. Este estudo mostrará o impacto das demais peças em relação aos rotores, assim será possível ver quais produtos concorrem simultaneamente por algum recurso e assim analisar as etapas que se devem subdividir na simulação para uso exclusivo da célula de rotores.

Na análise de situação atual, é de interesse observar o lead time de processo em cada centro de trabalho de um rotor, e assim se obter o tempo total de produção. Além disso, o rastreamento deste rotor, mostrará o percurso deste rotor e assim observar o quanto esse rotor “anda” pela fábrica.

2) A segunda etapa consiste na análise de situação futura.

Esta etapa servirá para rearranjar o layout da usinagem, focando na célula para produção de rotores. O uso das teorias de layout levará para o melhor caminho de se montar esta célula. Além disso, objetiva-se uma simulação computacional que validará o estudo e otimizará a melhor forma de se dispor dos centros de trabalho.

Com esta análise, espera-se conseguir minimizar a distância percorrida pelo rotor, controlar melhor o fluxo de rotores dentro da usinagem e diminuir o lead time de produção.

ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL

Segundo Silva (2009), o arranjo físico das instalações industriais tem grande impacto no desempenho da empresa. Desde a localização das unidades de negócio, à organização do micro espaço do posto de trabalho do operador, o projeto do layout deve ser conduzido de forma eficiente e eficaz. Isso porque os efeitos de um arranjo físico bom ou ruim irão ser percebidos pela organização nos resultados do seu negócio.

A fim de possuir uma vantagem estratégica de produção, foi definido pela diretoria da empresa que uma célula de produção de rotores seria necessária, para assim conseguir atender a demanda de outros países com maior flexibilidade e dentro do prazo estabelecido. Tendo em vista a implementação desta célula dentro da usinagem da empresa, é necessário uma análise profunda dos componentes usinados, para se conseguir mensurar o impacto da mudança de layout nas outras peças.

Inicialmente foi necessário observar o espaço disponível, analisando cada corredor, suas dimensões e suas importâncias.



Figura 6. Layout atual da usinagem.

Basicamente, a usinagem é composta por 4 grandes centros, interligados, que seguem uma sequência lógico temporal, necessitando algumas vezes retornar a alguma atividade já realizada.

O corredor 1 engloba as operações de: torno horizontal mecânico, torno horizontal CNC, fresadora, chaveteira, balanceamento, furação, retífica de rotores, além da inspeção de qualidade.

Já o corredor 2 engloba as operações de traçagem e de tornos verticais CNC e convencional.

No corredor 3 encontra-se operações de retífica de eixo, furação e madrilhadora.

O corredor 4, que atende a todas as famílias de produtos, encontra-se estrategicamente no canto direito da usinagem e engloba operações de solda, rebarbação e teste de LP (líquido penetrante).

Como já dito, vale ressaltar que a empresa produz bombas centrífugas “engenheiradas” composta das mais variadas peças e dimensões, que passam

por essas operações nos corredores mencionados anteriormente. No entanto, algumas famílias de peças são frequentes, pois são componentes básicos de bombas e possuem operações com roteiros bem definidos.

Das famílias de peças que possuem maior repetibilidade de vendas, encontram-se:

- Rotor;
- Corpo de estágio;
- Eixo;
- Corpo de Mancal;
- Carcaça;

A seguir, será feita a análise do caminho destas peças dentro da usinagem, a fim de verificar o impacto da mudança de layout. Afinal, para criar uma célula nova e modificar o layout, não pode haver prejuízos na produção de outras peças. Se o impacto comprovar ser relativamente baixo, a proposta de mudança de layout será considerada viável. Utilizando um GPS para cada peça, foi possível rastrear o percurso delas.

Para análise do percurso foi utilizado o método do Spaghetti Chart, que consiste em uma visualização de dados, a fim de se observar possíveis fluxos através de sistemas.

Rotores

Os rotores são componentes essenciais de uma bomba e são os responsáveis por ceder energia para o fluido, influenciando e muito, na eficiência de uma bomba. Pode ser considerado o componente mais importante de uma bomba centrífuga.

Trajeto Padrão Rotores

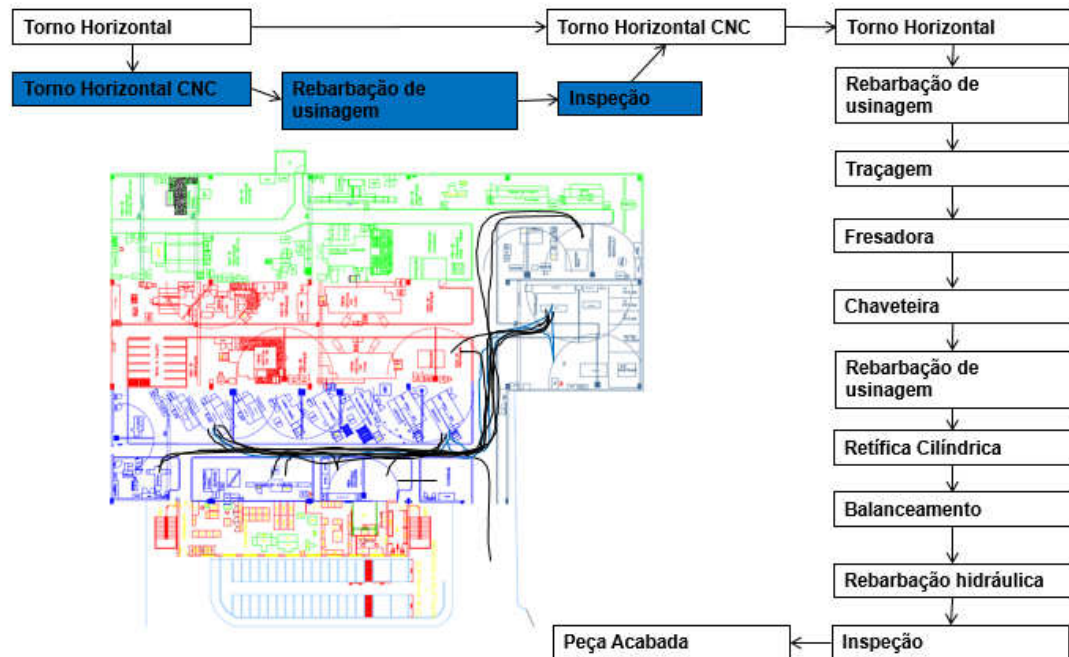


Figura 7. Percurso de um rotor.

As operações descritas na figura 7 constituem o percurso de um rotor dentro da usinagem. Observa-se que a maioria das operações encontra-se no primeiro corredor. No entanto, a ida para o setor da rebarbação é contínua e com uma distância considerável. Fazendo uma análise mais profunda no primeiro corredor, observa-se que o rotor anda várias vezes pelo corredor, indo e voltando. Pensando em uma análise de uma célula específica de rotores, não nos encontramos no ótimo, além do que este corredor também suporta outras peças no seu processo produtivo. Logo uma criação de uma célula de rotor, em termos de melhora de produtividade, torna-se comprovadamente viável.

Corpo de Estágio

Como o rotor tem a sua capacidade limitada pelo seu diâmetro e pela sua velocidade, muitas vezes um único rotor não é capaz de dar ao líquido a pressão desejada. Neste caso, são empregados dois ou mais rotores montados no mesmo eixo e ligados em série.

O fluído depois de entrar na carcaça da bomba passa sucessivamente por todos os rotores, ganhando maior pressão em cada um deles. A elevação

de pressão dada pela bomba ao fluido, é como se fosse feita em diversos degraus, constituindo cada rotor um degrau ou estágio desta elevação. Cada rotor constitui um estágio da bomba e o número de rotores determina o número de estágios da bomba.

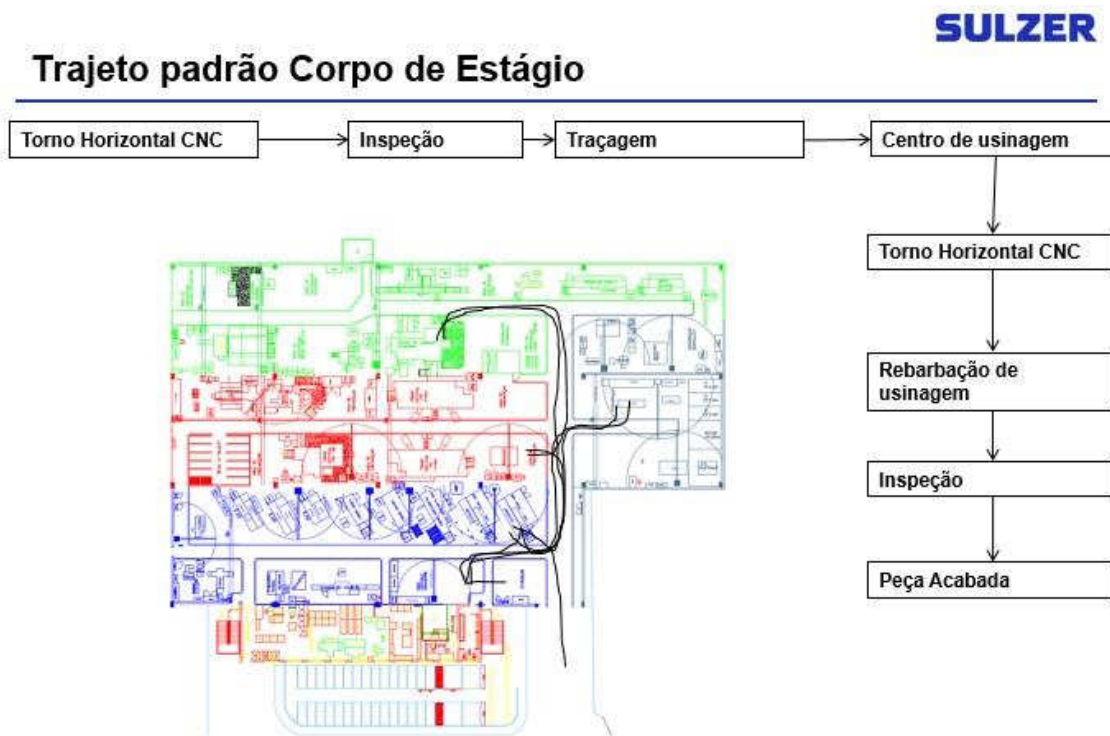


Figura 8. Percurso de um corpo de estágio

Observando o percurso de um corpo de estágio e comparando com o de um rotor, consegue ver pouca influência em seus caminhos. Os setores da rebarbação, traçagem, torno horizontal CNC e inspeção de qualidade competem em recursos com ele, sendo o setor da rebarbação o mais crítico, devido ao alto tempo de processamento e atrasos históricos. Tendo em vista a análise de impacto na criação de uma célula de rotor, pode-se concluir que a rebarbação deverá ser levado em conta na criação da célula de rotores, sendo então viável a destinação de um centro de rebarbação específico para rotores.

Eixos

O eixo de uma bomba centrífuga é acoplado no rotor e é o responsável por transmitir o movimento rotativo do rotor. É uma peça essencial na montagem da bomba.

Trajeto Padrão Eixos

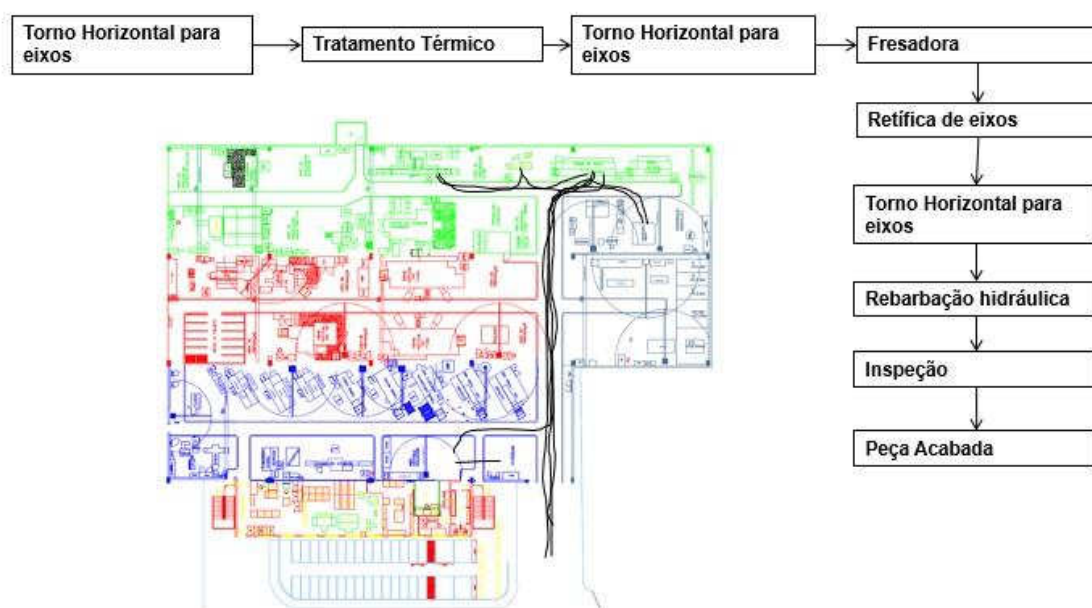


Figura 9. Percurso de um eixo

A figura 9 nos mostra um percurso semelhante ao de um corpo de estágio. Em termos de impacto em uma célula de rotor, o setor da rebarbação continua competindo por recursos. O setor da inspeção também precisa ser levado em consideração, pois compete com recursos com todas as peças. No entanto, não é uma área gargalo, e como ela já se encontra em um lugar que favorece o caminho do rotor, não há necessidade de se preocupar em subdividir esta área por enquanto. Porém se a simulação do novo layout favorecer a subdivisão da qualidade, aí sim valerá a pena dar atenção a este setor.

Corpo de Mancal

O corpo de mancal é o responsável pela sustentação do sistema eixo – rotor.

Trajeto Padrão Corpo de Mancal

SULZER

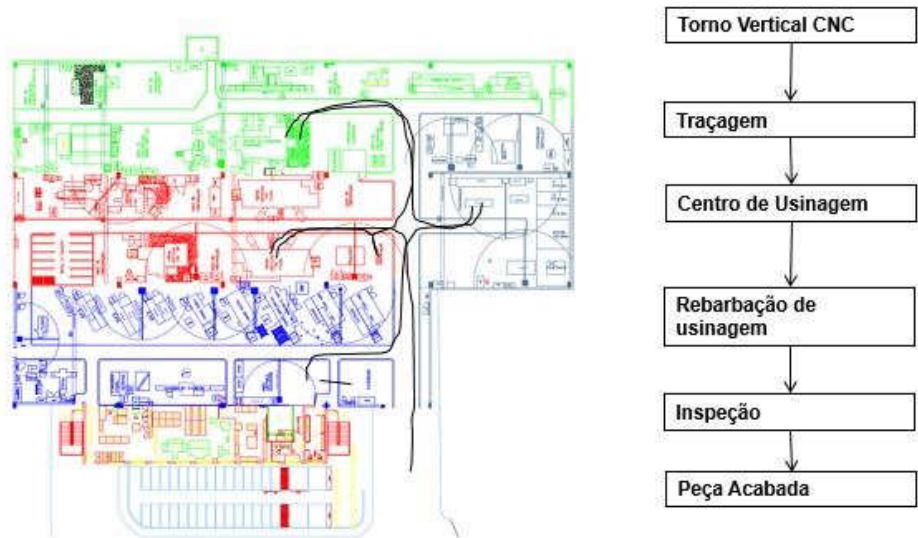


Figura 10. Percurso de um Corpo de Mancal

As análises anteriores encaixam para o corpo de mancal. Rebarbação e Qualidade também precisam ser melhores analisados pois estes setores impactam na criação da célula de rotores.

Carcaça

A carcaça é a parte da bomba onde, no seu interior, a energia de velocidade é transformada em energia de pressão, o que possibilita o fluido alcançar o ponto final do recalque. É no seu interior que está instalado o conjunto eixo-rotor, que torna possível o impulsionamento do fluido.

A Sulzer vende com mais frequência dois tipos de carcaças, que acabam possuindo operações distintas. Os tipos são: simples, também conhecida como voluta e as carcaças do tipo difusor.

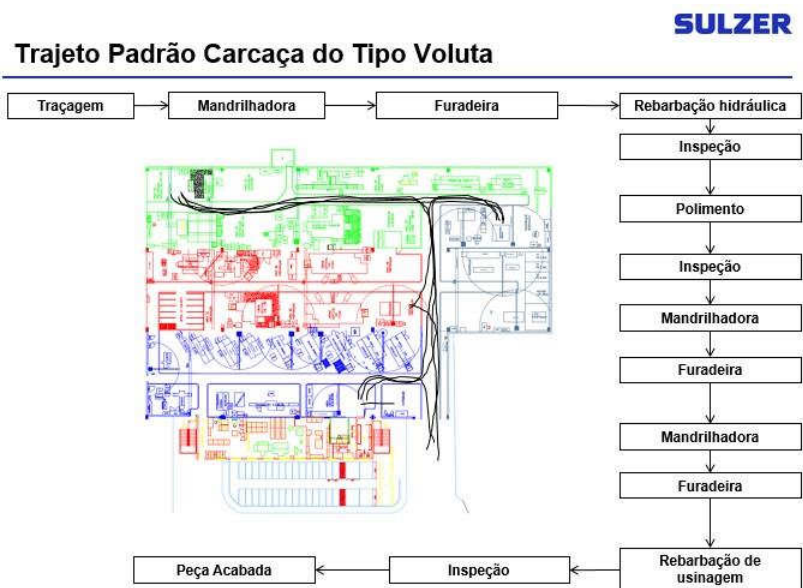


Figura 11. Percurso da Carcaça Voluta

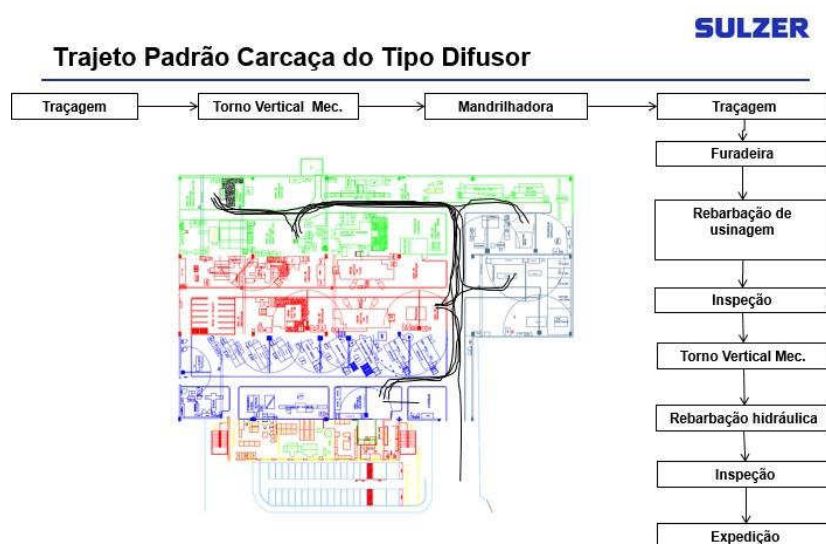


Figura 12. Percurso da Carcaça Difusor

Novamente, as figuras 11 e 12 mostram que os percursos destas peças não impactam na produção de rotores, com exceção da rebarbação. Inspeção de qualidade e traçagem competem por recursos, mas são operações relativamente rápidas. Uma simulação mostraria a disponibilidade física para se subdividir estas áreas, no entanto aparentam ser investimentos desnecessários, visto que não há interesse em melhorar atividade que são vistas como não-gargalos na produção.

Ficou claramente definido que um centro de trabalho de rebarbação exclusivo e perto da célula deverá ser remanejado. As operações de qualidade e traçagem, apesar de competirem por recursos, não são gargalos e são operações rápidas. No entanto são variáveis a serem consideradas na simulação. Os tornos do primeiro corredor são utilizados para uma vasta gama de produtos menos complexos, portanto destinar tornos para uso exclusivo de processamento de rotores é uma estratégia válida.

SULZER

Tempo médio de Processamento de um Rotor

```

graph TD
    A[Torno Horizontal  
32 Min] --> B[Torno Horizontal CNC  
108 Min]
    B --> C[Torno Horizontal  
62 Min]
    C --> D[Rebarbação  
30 Min]
    D --> E[Traçagem  
9 Min]
    E --> F[Fresadora  
33 Min]
    F --> G[Chaveteira  
20 Min]
    G --> H[Rebarbação  
30 Min]
    H --> I[Retífica de Rotor  
75 Min]
    I --> J[Balanceamento  
54 Min]
    J --> K[Rebarbação Hidráulica  
36 Min]
    K --> L[Inspeção  
10 Min]
    L --> M[Rotor Finalizado]
  
```

Total = 499 min (8,32 h)

Pelo rastreamento, foi observado que um rotor padrão possui um tempo médio de processamento de 8,32h. No processo de construção da nova célula,

tem que se dar atenção aos processos gargalos como a operação de torno horizontal CNC, Convencional e Rebarbação. Devido às filas, prioridades, o tempo de *work in process* (wip) acaba sendo superior que o lead time em si, visto que a programação média de um rotor completamente usinado gira em torno de 1 semana.

Isto é mais um motivo que justificaria a criação de uma célula de rotores, uma célula que competiria por recursos somente entre eles mesmos. Esta decisão estratégica aumentaria o OTD (on time delivery) da empresa, aumentaria a confiabilidade dos clientes e possuindo um maior controle sobre o nosso processo, aumentaria a qualidade do produto final.

Outro ponto a ser discutido, é o deslocamento que uma peça faz durante seu processamento. Esta é uma variável importante, pois a partir dela será possível posicionar os centros de trabalho da célula, a fim de minimizar o deslocamento de um rotor.

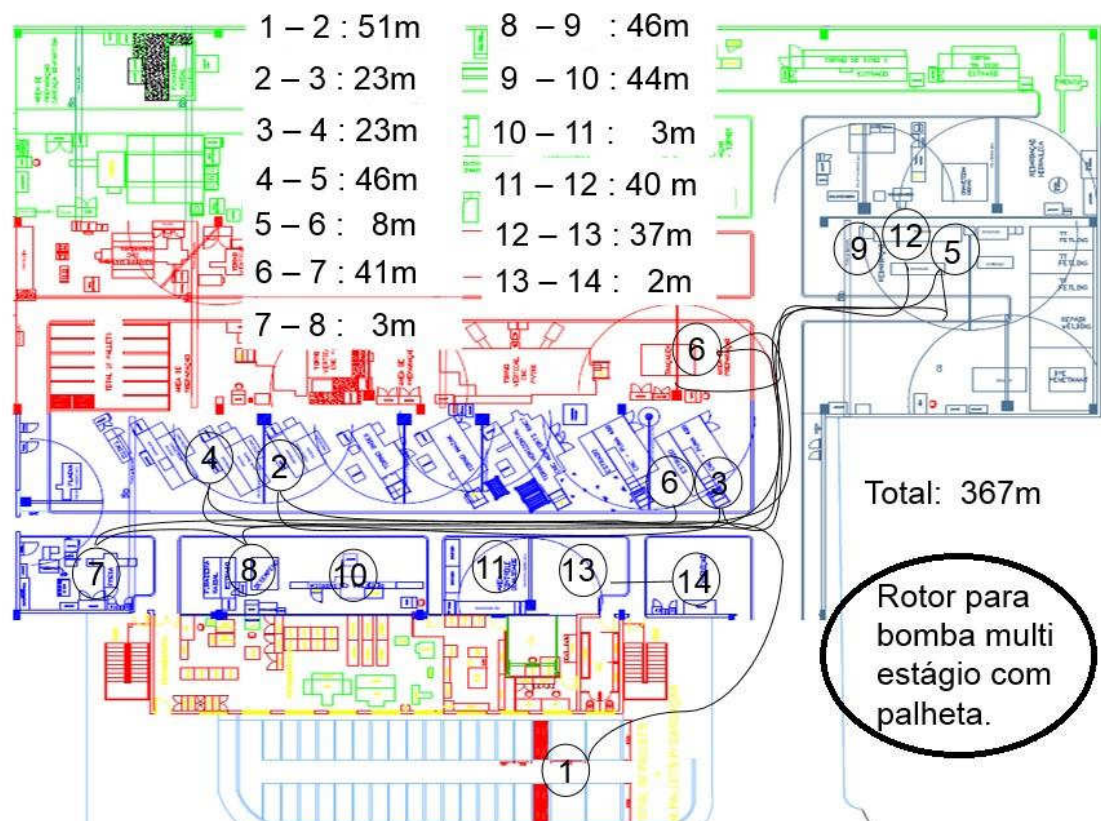


Figura 14. Distância Percorrida por um rotor

A figura 14 mostra que um rotor desloca em média 367m dentro da usinagem, durante o seu processo produtivo. Pode ser considerada uma distância excessiva visto que a fábrica em si possui dimensões relativamente pequenas.

Deseja-se minimizar a distância, assim, facilitando o trabalho dos funcionários. Em uma primeira análise, observa-se vários cruzamentos de distância entre as operações. Minimizando estas distâncias, esses cruzamentos tendem a se eliminar.

A partir de todas as variáveis apontadas será criada uma análise para a nova configuração de layout de rotores e uma simulação computacional será apresentada a fim de corroborar os dados propostos.

SIMULAÇÃO DO LAYOUT

Após uma completa coleta de dados, a fim de se descobrir as operações que um rotor pode percorrer e se esse caminho cruzaria com outras famílias de produtos, algumas análises devem ser levadas em consideração:

- As atividades mais críticas neste processo são a operação de torno horizontal mecânico; torno horizontal CNC e rebarbação. Estas operações possuem alto lead time.
- A operação da rebarbação encontra-se demasiadamente longe dos outros processos. Neste processo, ela demanda três operações distintas em um mesmo centro de trabalho. As idas e vindas deste setor aumenta drasticamente o percurso percorrido por um rotor em seu processo de fabricação. Portanto, destinar uma cabine de rebarbação e um operador dedicado exclusivamente para este tipo de produto e próximo ao local da célula, é uma decisão que deixaria o processo contínuo e enxuto.
- Existem 3 tornos horizontais mecânicos e CNC na empresa. Considerando estas duas operações como gargalo deste processo produtivo e considerando a estratégia da organização em se montar um fluxo somente de rotores para vendas no exterior, conclui-se que destinar um torno CNC e outro torno

convencional exclusivamente para este produto seria também uma boa decisão para agilizar o processo produtivo.

- A traçagem é uma operação rápida, porém a fim de minimizar os deslocamentos e se estabelecer um fluxo contínuo característico de uma célula e considerando que a criação de um novo centro de traçagem seria bem menor do que o original, visto que as peças as serem traçadas são rotores que possuem um dimensional relativamente pequeno quando comparado a uma carcaça, será criada um novo centro com um desempenho bem menor do que o da traçagem original, caracterizando um menor investimento tanto em material quanto espaço.
- As operações de fresa, retífica e balanceamento são operações relativamente rápidas e já estão posicionadas na linha da nova célula. Além do mais, outras famílias de rotores que não estão sendo considerados neste estudo, que serão destinados a outras finalidades, também utilizam destes recursos, que não são gargalos em nenhum processo produtivo da empresa.
- Por fim, o centro de inspeção de qualidade, compete por recursos com todas as famílias de produtos. Não é uma operação gargalo e ela é relativamente muito rápida. Como a criação de um novo centro se tornaria muito caro para a organização e que em nenhum momento ela só torna gargalo, considerou-se manter o centro de inspeção estrategicamente no fim da célula, sem mover o centro da sua posição original. Logo, a célula foi montada de forma contínua a fim de se deixar esta operação no fim do processo.

Estas observações completam os estudos de como se montar esta célula. É muito importante salientar que encontrar o ótimo em problemas de layout é extremamente complexo e pode ser muito caro. Na simulação descrita abaixo, foi projetado uma nova caracterização de layout, considerando-se a realização de mínimos investimentos.

O layout proposto foi concebido através de uma simulação computacional, utilizando o software ProModel. Objetiva-se verificar a

capacidade de cada centro de trabalho e o tempo que o produto ficaria dentro do sistema.

Em uma simulação computacional, existem dados que são primordiais para a realização de cenários simulados. Os inputs de dados mais importantes são: os locais, as entidades, as chegadas e o processamento. Sem estes elementos requeridos nenhum modelo funcionará.

Locais

Os locais são lugares para onde as matérias prima vão para ter operações realizadas sobre eles e se transformarem, chegando ao produto final no término do processo. As operações que englobam a produção de rotores são:

- 1) Armazenamento do rotor bruto.
- 2) Torno Horizontal mecânico, com duas operações distintas, sendo os leads time de 32 e 62 minutos respectivamente.
- 3) Torno Horizontal CNC, com lead time de 108 minutos.
- 4) Rebarbação, com três operações distintas, sendo os leads time de 30, 30 e 36 minutos respectivamente.
- 5) Traçagem, com lead time de 9 minutos.
- 6) Fresa, com lead time de 33 minutos.
- 7) Chaveteira, com lead time de 20 minutos.
- 8) Retífica, com lead time de 75 minutos.
- 9) Balanceamento, com lead time de 54 minutos.
- 10) Inspeção de qualidade, com lead time de 10 minutos.
- 11) Armazenamento do rotor usinado.

A figura 15 mostra os inputs de locais utilizados no software e a figura 16 apresenta o layout proposto elabora no software.

Locais						
Nome	Cap	Unidade	Estatísticas	Regras	Custo	
Entrada	INF	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Torno Convencional	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Torno CNC	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Rebarbacao	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Tracagem	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Fresa	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Chaveteira	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Retifica	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Balanceadora	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		
Inspecao	1	1	Série de Tempo	0 Mais Velho, FIFO,		

Entidades			
Nome	Velocidade (mpm)	Estatísticas	Custo
Rotor	50	Série de Tempo	

Figura 15. Locais e Entidades programados no modelo computacional

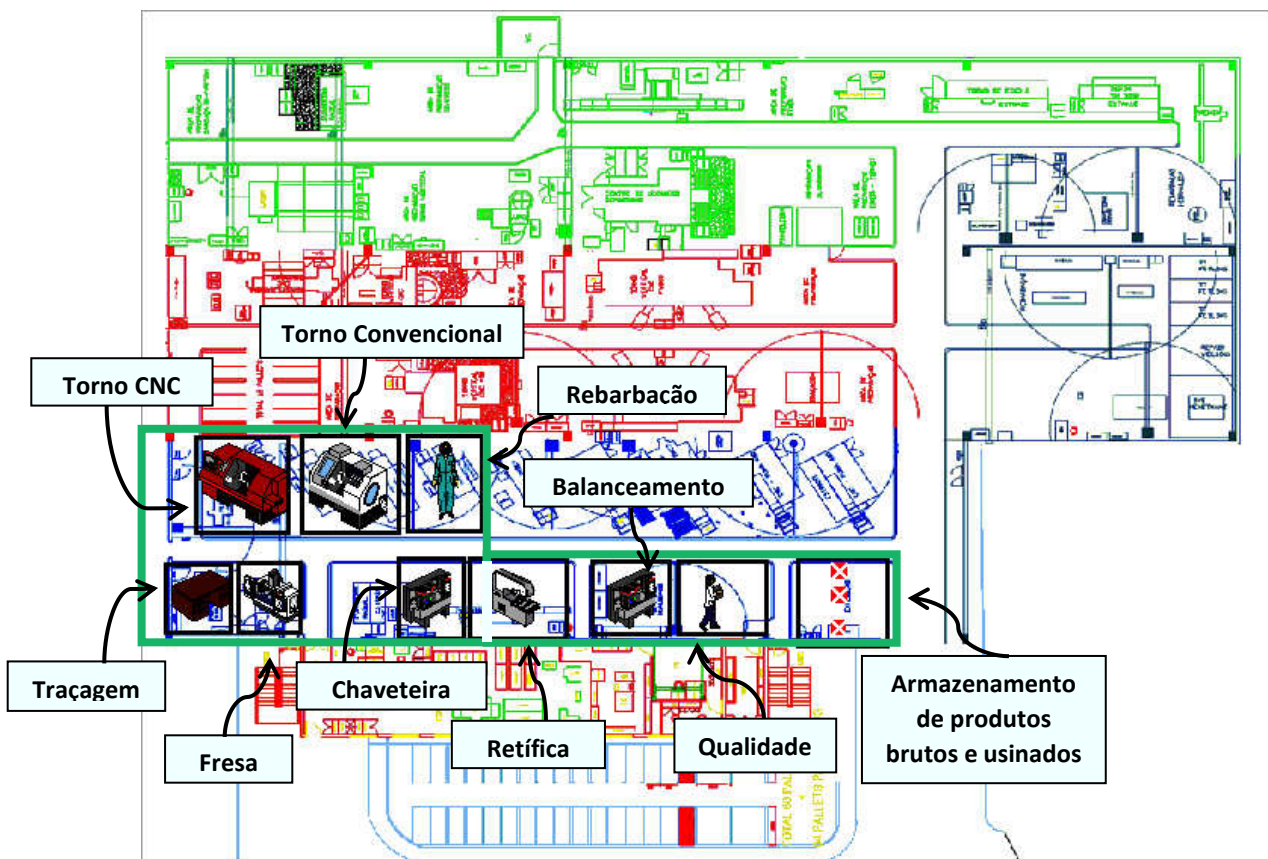


Figura 16. Layout proposto elaborado no software

Esta proposta de layout contempla as observações feitas durante todo este trabalho. Além do mais, apresenta-se uma clássica configuração de layout celular do tipo “U”.

Entidades

As entidades são os elementos que sofrem as ações no sistema. Neste estágio, foi considerado um único tipo de entidade que entrará no processo e irá se transformar de um produto em estado bruto a um produto em estado usinado. A figura 15, mostrada anteriormente, apresenta a entidade programada.

Chegadas

Para consideração da chegada de rotores, ou seja, a taxa de rotores que entram na programação da usinagem, serão utilizados os dados gerais de vendas de rotores do ano passado.

Entre março de 2013 e 2014 foram vendidos 1617 rotores para Alemanha, Estados Unidos, Índia e México. Considerando uma produção anual de 52 semanas, 5 dias por semana e atuando em dois turnos de 8h por dia e descontando o tempo improdutivo anual (estimado em 30%, levando-se em conta setup, férias, refeições e paradas por necessidades fisiológicas) tem-se uma demanda média diária de 9 rotores. Portanto tem-se a chegada de 1 rotor a cada 1,25h (75 minutos). A figura 17 apresenta estes dados.

***** * Chegadas *****					
Entidade	Local	Quantidade	Primeira Vez	Ocorrências	Freq ³ ência Lógica
Rotor	Entrada	1		INF	E<75>min

Figura 17. Input chegada de rotores, na simulação.

Processamento

O processamento consiste em lógicas de programação que indicarão o percurso da entidade pelos locais.

Os dados dos tempos de processamento utilizados neste modelo serão assumidos que seguem uma distribuição de probabilidades exponencial, como indica as clássicas teorias de fila.

Na figura 18 abaixo segue os dados de processamento inseridos no modelo. Os dados utilizados são os leads time de processamento de cada local e programação lógica do rotor entre as operações.

***** * Processamento ******						
Processo				Roteamento		
Entidade	Local	Operação	B1	Saída	Destino	Regra
Rotor	Entrada		1	Rotor	Torno_Convencional	FIRST 1
Rotor	Torno_Convencional	WAIT E<32>	1	Rotor	Torno_CNC	FIRST 1
Rotor	Torno_CNC	WAIT E<100>	1	Rotor	Torno_Convencional	FIRST 1
Rotor	Torno_Convencional	WAIT E<62>	1	Rotor	Rebarbacao	FIRST 1
Rotor	Rebarbacao	WAIT E<30>	1	Rotor	Tracagem	FIRST 1
Rotor	Tracagem	WAIT E<9>	1	Rotor	Fresa	FIRST 1
Rotor	Fresa	WAIT E<33>	1	Rotor	Chaveteira	FIRST 1
Rotor	Chaveteira	WAIT E<20>	1	Rotor	Rebarbacao	FIRST 1
Rotor	Rebarbacao	WAIT E<30>	1	Rotor	Retifica	FIRST 1
Rotor	Retifica	WAIT E<75>	1	Rotor	Balanceadora	FIRST 1
Rotor	Balanceadora	WAIT E<54>	1	Rotor	Rebarbacao	FIRST 1
Rotor	Rebarbacao	WAIT E<36>	1	Rotor	Inspecao	FIRST 1
Rotor	Inspecao	WAIT E<10>	1	Rotor	EXIT	FIRST 1

Figura 18. Regras de processamento do modelo proposto

A simulação foi realizada para 60 horas (aproximadamente o total de tempo útil em uma semana), em 20 cenários distintos, a fim de garantir uma convergência mais eficiente dos dados, eliminando ao máximo a aleatoriedade das variáveis discretas.

Os resultados mais interessantes neste modelo serão verificar:

- ✓ A capacidade dos centros produtivos;
- ✓ O tempo médio da permanência de uma entidade no sistema;
- ✓ Quantidade de saídas de entidades no período descrito;
- ✓ Otimização da distância percorrida pelo rotor.

Com todos esses inputs, deseja-se verificar a disponibilidade das operações descritas ao longo deste trabalho. A disponibilidade dará como output os tempos em operação, ocioso e bloqueado de cada operação. Estes tempos são importantes para se determinar os gargalos produtivos, e assim, buscar, na medida do possível e das necessidades de mercado, otimizar o modelo, seja neste trabalho ou em um kaizen futuro.

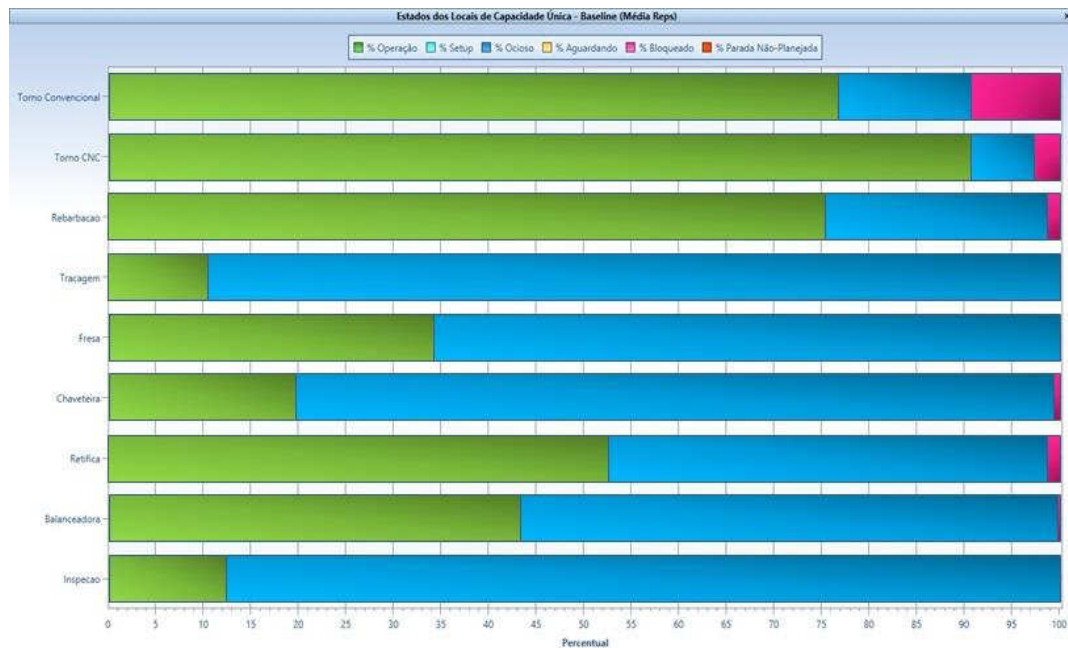


Figura 19. Capacidade dos locais

Na figura 19 é possível observar a utilização de cada centro de trabalho. Em verde encontram-se a porcentagem de tempo em operação, em azul a porcentagem de tempo ocioso e em rosa, a porcentagem de tempo bloqueado.

Como já mencionado, fica claro que as operações de torno convencional, torno CNC e rebarbação são os gargalos deste processo. As outras operações, apesar de possuírem um alto tempo ocioso serão utilizadas em outras famílias de produtos, com exceção da traçagem, que apesar do alto tempo ocioso, apresentou um baixo investimento ao subdividir a área e realocá-la em um fluxo contínuo da célula, próximo a operação de fresa, onde o operador com tempo sobrando, poderia realizar as duas operações.

Analisando nossa demanda atual, não seria necessário aumentar as operações gargalos (seja em número de máquinas e/ou operadores) para atingir nossos objetivos. No entanto, em um kaizen futuro, já ficou claro para a organização que as atividades gargalos acima identificadas é que deverão ser modificadas, a fim de se otimizar esse sistema.

Nestas configurações, é interessante a observação de dois resultados. O primeiro resultado é o tempo médio que um rotor ficará no sistema. Obteve-se um tempo médio de operação de aproximadamente 457 min, um tempo

bastante razoável e dentro das expectativas, considerando as mudanças propostas.

A quantidade de rotores que saíram do sistema durante a simulação programada será um output interessante, para se checar se a demanda proposta está sendo bem atendida. Em uma simulação de uma semana, o total de saídas foi de aproximadamente 64 rotores, acima da demanda atual, exemplificando que estamos atendendo nossa demanda e ainda assim, possuindo uma reserva em casos de pico de produção. No futuro, aumentando a demanda, e por consequência, o número de chegadas ao sistema, será possível analisar através da capacidade, possíveis melhorias deste processo.

A verificação do deslocamento da peça dentro do sistema depende de uma programação opcional muito importante para este modelo. Afinal, dentro das limitações de investimento, deseja-se minimizar o percurso da peça em seu processo de fabricação.

Utilizando-se as redes de caminho para o modelo proposto, observam-se os seguintes deslocamentos deste novo modelo (figura 20).

***** * Redes de Caminho *****						
Nome	Tipo	T/S	De	Para	BI	String
Red1	Passante	Velocidade & Distância	R1	R2	Bi	23
			R3	R4	Bi	3
			R5	R6	Bi	3
			R7	R8	Bi	3
			R9	R10	Bi	6
			R11	R12	Bi	3
			R12	R13	Bi	6
			R14	R8	Bi	2
			R8	R15	Bi	3
			R16	R17	Bi	3
			R18	R19	Bi	6
			R19	R20	Bi	8
***** * Interfaces *****						
Red	Nº	Local				
Red1	R1	Torno_Convencional				
	R3	Torno_CNC				
	R6	Rebarbacao				
	R8	Tracagem				
	R11	Fresa				
	R12	Chaveteira				
	R8	Retifica				
	R15	Balanceadora				
R19	Inspecao					

Figura 20. Redes de Caminho e Interfaces do modelo proposto

Nestas configurações, tem-se um deslocamento total de 69m. Utilizando teorias de deslocamento mínimo, obviamente não estamos no ótimo, devido aos nós verificados. No entanto, o ótimo nem sempre é viável devido a altos investimentos. A figura 21 representa todos os caminhos da simulação proposta.

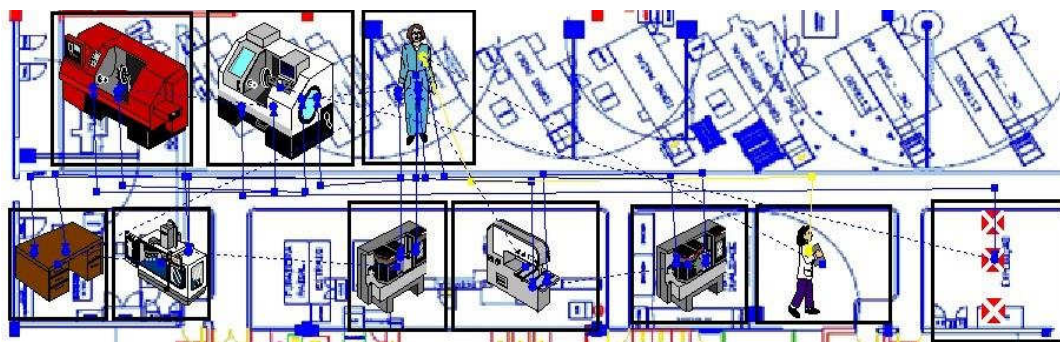


Figura 21. Representação dos caminhos do novo layout

Em dados comparativos ao modelo original, tem-se uma redução absoluta de 367m para 69m. Percentualmente, este modelo reduziu 81% o deslocamento no processo de fabricação.

CONCLUSÃO

A partir de uma necessidade de mercado, objetivou-se a criação de uma nova configuração de layout para os rotores de exportação da empresa Sulzer. Inicialmente, desejou-se verificar a viabilidade deste projeto, checando a demanda deste produto para os clientes em potencial. Como a demanda apresentou-se alta e se trata de um produto que valoriza a carteira da empresa, e querendo buscar uma maior confiabilidade de seus clientes e de seu processo, foi decidido que esta reformulação é viável, necessitando apenas de um estudo comprobatório de impacto, para assim se iniciar o escopo da melhoria.

Após um vasto estudo, chegou-se a conclusão que o impacto com outras famílias de produtos seria mínimo, porém devendo ser levados em consideração nesta melhoria. Primordialmente, os recursos de torno horizontal convencional, torno horizontal CNC e rebarbação são os recursos mais acionados e com maiores leads time. Em termos de competição por recursos, os setores da rebarbação, traçagem e inspeção são os mais acionados.

Na configuração deste novo layout, buscou-se, segunda uma vasta pesquisa teórica de modelos e que gerasse o menor investimento possível, uma configuração de layout do tipo celular, visto que os componentes

processados estão agrupados em famílias de forma, dimensão e processos, sequenciados de maneira lógica e com fluxo contínuo.

Investimentos sem grandes justificativas e paybacks não são bem vistas pelas organizações. Existe a necessidade e a oportunidade de se realizar uma melhoria, mas gastar demasiado dinheiro para compra de máquinas e contratação de colaboradores, por exemplo, podem ser deixados em segundo plano, ou até mesmo entrar em um planejamento de longo prazo. Raramente, atitudes drásticas entrariam em uma mudança de curto prazo. Como o objetivo era criar uma mudança prática e de curto prazo, foi montado uma configuração independente, em formato celular, que atendesse a necessidade deste projeto.

Do ponto de vista financeiro, um torno convencional e outro CNC foi deixado exclusivamente para este novo layout, porém como há demanda, o investimento foi zero e a máquina e seu operador terão trabalho em suas horas produtivas. O mesmo ocorreu para uma cabine de rebarbação, que foi remanejado para esta célula. A fim de manter um fluxo enxuto e contínuo, foi comprado um desempenho de porte pequeno e instalado junto à operação de fresa. Conclui-se que este trabalho trouxe um resultado com baixo investimento, sendo facilmente aprovado pela diretoria.

Todo o processo de melhoria foi corroborado com o software de simulação ProModel, que mostrou a capacidade destes centros de trabalho no sistema, o seus respectivos gargalos, além de uma prática manipulação de seus locais, garantindo, na medida do possível, um excelente resultado em termos de minimização da distância percorrida pelo rotor. Nestas configurações, em média, em uma semana, a empresa seria capaz de entregar 64 desses rotores (acima da demanda atual) e com deslocamento reduzido do original em 81%, deslocando apenas 69m em seu processo de fabricação.

Chegou-se ao término deste trabalho, com a realização de uma comprovação robusta e uma implementação inicial aprovada, que terá sua concretização para o início de 2015.

BIBLIOGRAFIA

LEE QUARTERMAN, T. Projeto de instalações e do local de trabalho. São Paulo: IMAM, 1998.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 2º ed. 2002.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A.; BOZER, Y. A.; TANCHOCO, J. M. A. Facilities planning. USA: John Wiley & Sons, 3rd edition, 2003.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. Administração de produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica. Editora Atlas, 2004.

GONÇALVES FILHO, E. V. Sistemas de Manufatura: Projeto do arranjo físico. 2005.

CAMAROTTO, J. A.; MENEGON N. L. Projeto de Unidades Produtivas: Apostila. 2006. 126p. Departamento de Engenharia de Produção, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2006.

TORRES, I. Integração de Ferramentas Computacionais Aplicadas ao Projeto e Desenvolvimento de Arranjo Físico de Instalações Industriais. 2001. 181p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001.

SILVA, A. L. Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de layout industrial, em ambientes de alta variedade de peças, orientado para a Produção Enxuta. 2009. 244p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ROTHER, M.; HARRIS, R. Criando fluxo contínuo: Um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2002.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações. São Paulo, Ed. Dos Autores, 2006.