

# **PROPOSTA DE REESTRUTURAÇÃO DE LAYOUT PARA UMA EMPRESA DO SETOR METAL MECÂNICO POR MEIO DE UM MODELO HÍBRIDO DE PLANEJAMENTO DE LAYOUT E TÉCNICA MULTICRITÉRIAL**

THAIS CRISTINA RODRIGUES FABIANO

FRANCIELY VELOZO ARAGÃO

## **Resumo**

*Para uma empresa se manter competitiva no mercado atual é preciso focar em melhorias em seu processo, e uma técnica muito empregada para esse fim é o planejamento de layout. Portanto isso inclui uma empresa metalúrgica, onde seu processo se baseia quase que em sua totalidade em usinagem de peças, tendo como input barras, ou peças de aço e como output peças usinadas. O bom aproveitamento do espaço físico disponível é primordial significando a melhoria nos resultados da empresa, visto que, um bom layout pode diminuir distância percorridas dentro da fábrica por exemplo, resultando em um melhor desempenho do processo. Mas o planejamento de re-layout pode levar uma alta demanda de tempo e possuir um custo elevado, entretanto qualquer erro em seu planejamento pode causar prejuízo ao processo e consequentemente aos seus clientes. Em razão disso o presente estudo realizou uma análise de reestruturação layout em um empresa do setor metal mecânico na parte de usinagem de peças com o objetivo de propor um layout mais adequado ao setor. Para tanto foi utilizado um modelo híbrido da metodologia Planejamento Sistemático de Layout e a técnica de multicritério TOPSIS. A proposta se tornou satisfatória pois a mesma atingiu o objetivo desse estudo de definir uma proposta ótima de layout para uma empresa do setor metal mecânico.*

**Palavras-chave:** layout; SLP; multicritérios; TOPSIS

## **1. Introdução**

A progressiva globalização do mercado atual mostra um cenário onde a demanda dos clientes muda continuamente, levando as empresas a concentrarem seus esforços na redução de custos e na lucratividade GYÖRGY E KOT (2017). Portanto, para que se torne possível diminuir os custos do negócio é preciso focar em melhorias, produtividade, qualidade, recursos e espaço, e uma alternativa para conseguir tais resultados é selecionar um bom *layout* (MOATARI 2014).

O *layout* ou arranjo físico do setor de produção segundo Silva *et al.* (2012) pode ser definido como “a localização e distribuição espacial dos recursos produtivos, como máquinas, equipamentos, pessoas e instalações no chão de fábrica”. E essa distribuição impacta diretamente no desempenho da empresa, pois, ainda segundo os autores uma readequação

*layout* pode eliminar atividades desnecessárias e usufruir melhor das necessárias, isso porque minimiza os custos de movimentação entre materiais, utiliza o espaço e mão de obra de forma mais eficiente, evitando movimentação desnecessária, facilita a comunicação, diminui o tempo de ciclo, facilita a entrada e saída de materiais e pessoas, incorporam mais facilmente medidas de qualidade e melhora a visualização macro da operação.

Em contrapartida, Kannan (2010) destaca que um *layout* mal projetado pode acarretar diversos problemas como interrupções no abastecimento, insatisfação dos clientes externos e internos, atraso na produção, formação de filas entre processos, estoques mal organizados e dispensáveis, e também alto custo relacionado a ineficiência das operações.

Contudo, segundo Ferreira (2013), a reestruturação do *layout* de uma empresa é uma atividade complexa que demanda tempo e custo elevado, e qualquer erro pode gerar interrupções de abastecimento na produção e de seus clientes externos, atrasando a produção, formando filas entre processos e estoques mal estruturados. Portanto, é imprescindível a adoção de uma metodologia de readequação de *layout* que consiga contemplar as necessidades da empresa, de forma efetiva e que careça de menos tempo e custo. O que justifica – se o seguinte estudo, pois o mesmo irá buscar uma proposta mais adequada de *re-layout* para uma empresa do ramo metalúrgico, uma vez que a mesma apresenta um *layout* inadequado, pois até o momento não foi realizado um estudo de *layout* com uma metodologia definida desde que iniciou suas atividades, há pouco mais de cinco anos.

Para formulação de uma proposta de *re-layout* bem definida o estudo em questão utilizou um modelo híbrido entre a metodologia SLP (*Systematic Layout Planning*) ou Planejamento Sistemático de *Layout* proposta por MUTHER (1973) e a técnica de multicritério TOPSIS (Técnica para Ordem de Preferência por Similaridade com Solução ideal). O SLP é um método que usa taxas de relacionamento interdepartamentais com o objetivo de diminuir o *Works-in-process*, o manuseio de materiais e o *lead time* do processo (TORTORELLA e FOGLIATTO, 2008). O método passa por 3 macro fases que são análise, pesquisa e seleção, e dentro da fase de seleção será inserido uma técnica de multicritérios na tomada de decisão, permitindo ser aprimorada a escolha de *layout*.

A técnica TOPSIS segundo Durmusoglu (2018) classifica as alternativas de acordo com a proximidade em relação à solução ideal, considerando os atributos essenciais levantados pelos autores, a técnica possui uma aplicabilidade simples, mas eficiente para escolha de *layout* levando em consideração os critérios adotados.

Logo, o objetivo geral deste trabalho foi utilizar um modelo híbrido da metodologia SLP e a técnica TOPSIS para definir uma proposta ótima de *re-layout* para uma empresa do setor metal mecânico. Contudo, para atingir o objetivo foi necessário levantar informações através da análise PQRST (produto, quantidade, rota, suporte e tempo), realizar uma análise espacial do setor, propor novos modelos de *layout* e selecionar a melhor alternativa de *layout* dentre os modelos propostos.

## 2. Revisão da literatura

### 2.1 Layout

Para Durmusoglu (2018) um projeto de *layout* se trata da criação de um plano onde os elementos de uma instalação fabril são rearranjados dentro de uma lógica científica, ou seja, é previamente definido através de estudos levando em consideração critérios importantes para instalações, como desempenho de fabricação, tempo de ciclo, o homem / taxas de utilização das máquinas, os custos de manuseio de materiais, dentre outros.

Neumann e Scalice (2015) complementam que uma unidade produtiva requer uma definição do tipo de *layout* adequado às necessidades da produção, denominado como tipos básicos de *layout* que dependendo da natureza do produto e de suas operações, os *layouts* podem ser classificados como descritos no Quadro 1.

QUADRO 1 - Objetivos e aplicações dos tipos básicos de *layout*.

<b>Layout</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Posicional</b>	Aprimorar a utilização dos recursos ao redor do produto que possui longas e complexas atividades.	Navios, rodovias, edifícios, e outros.
<b>Produto</b>	Busca melhorar a eficiência do funcionário agrupando suas atividades em postos tornando possível uma alta utilização da mão de obra com o mínimo de ociosidade	Linha de montagem de automóveis, processos alimentícios, e outros.
<b>Processo</b>	Aproximas setores com maiores tráfegos de matérias com a intensão de diminuir custos com transportes de materiais, levando em consideração volume e fluxo dos produtos.	Hospitais, escolas, bancos, maquinário.
<b>Celular</b>	Aumentar a flexibilidade, formando famílias de peças e máquinas e dimensionando cada uma das máquinas de cada célula	Industria de calçados, mobiliários, e outros.

Fonte: Adaptado de Neumann e Scalice (2015).

Slack (2008) aponta que a definição de um arranjo físico está relacionada à escolha de posicionamento de instalações, máquinas, equipamentos e pessoas. O *layout* é a demonstração de como a operação flui através do posicionamento físico.

Entendendo que o planejamento de *layout* se trata de uma operação produtiva, a má execução desse planejamento pode ser nociva à saúde operacional da empresa. Devido a isso se torna correto a afirmação de Tortorella e Fogliatto (2008) da qual diz que todos os detalhes relacionados ao processo produtivo devem ser levantados.

Para Shayan e Chittilappily (2004), um problema de *layout* é definido como problema de otimização de espaço, do qual necessita encontrar de forma eficiente e eficaz de interação entre instalações, fluxo de materiais, pessoas e todas as informações relevantes ao ambiente.

Portanto, para se obter um planejamento adequado de *re-layout* é necessária uma sistematização do mesmo, através de um método pré-definido, como o *Systematic Layout Planning* (SLP).

## **2.2 Sistema SLP**

O SLP trata de uma metodologia proposta por Muther (1973) para planejamento de projeto ou pré-projeto de *layout*. O método busca uma maior eficiência em arranjos físicos, através da sistematização de conhecimento e ferramentas de planejamento apropriadas (LEE, 1998). Visando identificar dentre a alternativa de *layout*, a mais apropriada de acordo com as necessidades da empresa Yang et al. (2000).

A metodologia SLP é organizada em fases das quais representam o nível de detalhamento que se deve adotar no projeto de arranjo físico da produção (MUTHER, 1973). Tais fases são compreendidas em:

FaseI: Localização. Determina a área geográfica onde será feito a implantação de *layout*.

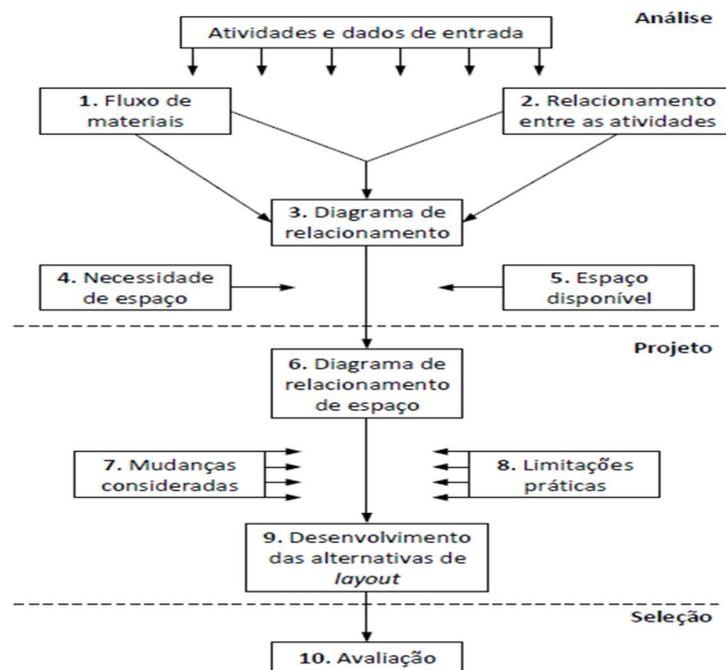
FaseII: Arranjo físico geral. Nesta fase são definidos os fluxos e as inter-relações entre os setores fabris, resultando no que se chama de arranjo de blocos (*block layout*);

FaseIII: Arranjo físico detalhado. É definido a localização de máquinas e equipamentos.

Fase IV: Implantação. Onde é executado o que foi planejado, ou seja, onde ocorre as mudanças de instalações necessárias para atender o novo *layout*.

Tais fases podem ser englobadas em três fases macros: análise, pesquisa e seleção conforme Figura 1.

Figura 1- *Systematic Layout Planning* (SLP)



Fonte: Muther (1973)

O SLP inicia com uma coleta de dados chamada PQRST (produto, quantidade, rota, suporte e tempo), na qual auxilia na coleta de informações que servirão de entrada para o método. Com os dados de entrada é possível iniciar a fase de análise. A fase é iniciada com a avaliação do fluxo de materiais (TORTORELLA E FOGLIATTO 2008).

Costa *et al.* (2012) dizem que o fluxo de materiais na maioria dos casos é fator predominante para a escolha de *layout*. Nele é necessário identificar fluxos através dos setores envolvidos, de acordo com a sequência e a intensidade do deslocamento do material. As principais ferramentas utilizadas nessa etapa são, carta de processos múltiplos, carta “de-para”, diagrama de processos. Com isso também é possível compreender a necessidade de proximidade entre diferentes departamentos. Tornando-se necessária a elaboração do diagrama de relacionamento, ferramenta essa que se trata de uma matriz triangular que mostra o grau de interligação e o tipo de inter-relação entre uma atividade e cada uma das outras que compõem o processo.

A fase de pesquisa é iniciada com adesão de informações de espaço disponível e espaço mínimo necessário para instalações, suas limitações e condições as práticas levantadas (TORTORELLA E FOGLIATTO 2008).

Após o diagrama de relacionamento ainda é feito o diagrama de inter-relação, traduzindo a configuração obtida pelo diagrama de relacionamento em um modelo de *layout* primitivo. Ele procura integrar o mapeamento do fluxo de materiais com a avaliação das interligações preferenciais obtidas através do diagrama de relacionamento (Costa *et al.* 2012.)

Em sequência é feito o diagrama de inter-relação de espaços, no qual é aderido ao diagrama de inter-relações anterior, o espaço necessário, como área das máquinas e equipamentos, estoque e os demais componentes que constituem o ambiente, dentro da área total disponível.

Para concluir as propostas de *layout* desenvolvidas ainda nessa fase é necessário incluir as considerações de mudanças, como por exemplo, ajustes necessários em relação a processos, métodos de movimentação de matérias, necessidade de pessoal, e ainda suas limitações práticas em relações a custos, restrições técnicas, segurança, etc. (Costa *et al.* 2012.).

Após o desenvolvimento de alternativas de *re-layout* é iniciado a fase de seleção onde são avaliadas as propostas. A seleção deve considerar se os critérios de projeto foram satisfatórios (KERNS, 1999). Para tal seleção Tortorella e Fogliatto (2008) afirma que é preciso avaliar as alternativas de *layout*, investigando suas características sob condições reais de tempo, espaço e informação. Os autores utilizam alguns critérios para uma boa avaliação de alternativas de *layout*, entre eles estão minimização *re-layout* e maximizar linearidade de fluxo, maximizar relacionamento entre SPUs, Mas para isso é necessário estabelecer índices que possam mensurar tais características de modo a torna-las objetivas para avaliação de um *layout*, e escolher a melhor alternativa (LIN; SHARP, 1999).

Portanto, a linearidade do fluxo ( $D_{Pj}$ ) é definida pela relação entre o volume do produto em processo produto durante o processo ( $V_{Di}$ ) e a distância  $D_{PSij}$ ) percorrida pelo mesmo, como mostra a Equação 1.

$$D_{Pj} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{Di}}{D_{PSij}} \quad (1)$$

Já o *re-layout* se trata do nível de mudança necessária para cada proposta, esse critério mensura a porcentagem de mudança necessária para a readequação de *layout* de cada proposta ( $N_{Rlj}$ ), o qual é calculado pelo número de máquinas, equipamentos e setores (estoques) que necessitaram de realocação de cada proposta sobre o número total desses componentes ( $N_S$ ), conforme mostra a Equação (2).

$$N_{RLj} = \frac{N_{Mj}}{N_S} \quad (2)$$

Segundo Tortorella e Fogliatto (2008) os critérios de avaliação que norteiam a seleção das alternativas de *layout*, são mais bem utilizados com o apoio de uma metodologia multicritério, sua justificativa é que o uso da metodologia se faz necessário para evitar conflitos na escolha do *layout*, pois o mesmo precisa levar em consideração vários objetivos e pontos de vista. Ou seja, uma metodologia de análise multicritério guiara o processo de escolha, ordenação ou classificação de um projeto.

### TOPSIS

TOPIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) ou Técnica de Ordenação de Preferências por Similaridade com a Ideal Solução, é uma técnica de avaliação e decisão de multicritérios simples e eficiente, uma vez que elas possuem um menor número de inversões se comparado a outras ferramentas do gênero. Ela é capaz classificar as alternativas de acordo com a proximidade em relação a solução ideal (DURMUSOGLU 2018).

Amaro (2015), afirma que o princípio do TOPSIS é escolher uma alternativa que se aproxime ao máximo de uma solução ideal positiva, e se distancie ao máximo de solução ideal negativa.

Hwang (1981) explica que a ferramenta TOPIS desenvolve seus cálculos para chegar a uma resposta conforme descrito a seguir:

1º Passo: O primeiro passo da técnica é a determinação da sua matriz de decisão, nela será inserido as alternativas de layout (m), os critérios adotados (j) e os pesos atribuídos a cada critério ( $W_j$ ). A distribuição dos pesos devem ocorrer de forma que sua soma seja igual a 1.

*Matriz de decisão*

Alternativa <i>i</i>	Critério <i>j</i>			
	1	2	...	<i>n</i>
1	$x_{11}$	$x_{12}$	...	$x_{1n}$
2	$x_{21}$	$x_{22}$	...	$x_{2n}$
...	...	...	...	...
<i>m</i>	$x_{m1}$	$x_{m2}$	...	$x_{mn}$
Pesos $w_j$	$w_1$	$w_2$	...	$w_n$

Alternativas:  $i = 1, \dots, m$   
 Critérios:  $j = 1, \dots, n$

$\sum w_j = 1$

2º Passo: Para cada critério da matriz de decisão será realizada a normalização, obtendo a matriz normalizada ponderada.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

(a)

$$v_{ij} = \frac{x_{ij} w_j}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}$$

(b)

Alternativa <i>i</i>	Critério <i>j</i>			
	1	2	...	<i>n</i>
1	$v_{11}$	$v_{12}$	...	$v_{1n}$
2	$v_{21}$	$v_{22}$	...	$v_{2n}$
...	...	...	...	...
<i>m</i>	$v_{m1}$	$v_{m2}$	...	$v_{mn}$

3º Passo: Determinação de uma solução ideal  $A^*$  e a anti-ideal  $A^-$ .

**Solução Ideal** (+ preferível)

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$$

**Solução Anti-Ideal** (- preferível)

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$$

$J_1 = \{j = 1, \dots, n \mid j \text{ é um critério de maximização}\}$

$J_2 = \{j = 1, \dots, n \mid j \text{ é um critério de minimização}\}$

$$v_i^* = \left\{ \left( \max_j (v_{ij}) \mid j \in J_1 \right), \left( \min_j (v_{ij}) \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \dots, m \right\}$$

$$v_i^- = \left\{ \left( \min_j (v_{ij}) \mid j \in J_1 \right), \left( \max_j (v_{ij}) \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \dots, m \right\}$$

4º Passo: Utilizando a distância euclidiana é determinado a distância de cada alternativa em relação as soluções ideal  $A^*$  e anti-ideal  $A^-$ .

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

$S_i^*$  = distância da alternativa *i* para a solução ideal

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

$S_i^-$  = distância da alternativa *i* para a solução anti-ideal

5º Passo: Determinação da alternativa ótima  $C_j^*$  através da proximidade relativa com a solução ideal.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{(S_i^* + S_i^-)}$$

$$C_i^* \in [0,1] \quad \forall i = 1, \dots, m$$

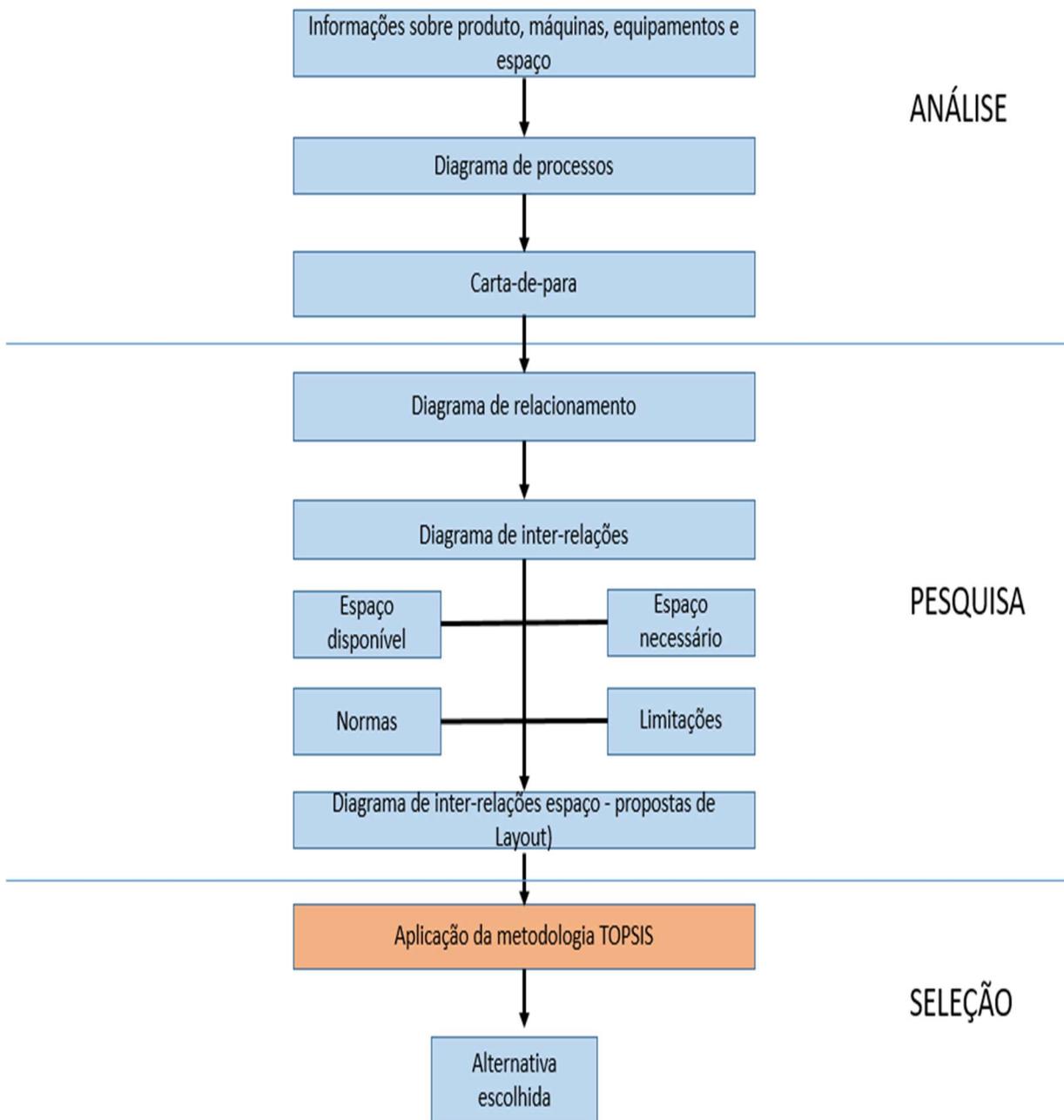
## Metodologia

Como mencionado na introdução para a construção desse estudo foi construído um modelo híbrido combinando o SLP e o TOPSIS conforme demonstrado na figura 2. Onde se teve início com a coleta de dados da empresa e de seu processo, dados esses que serviram como

entradas para as ferramentas utilizadas na metodologia, como carta de para, diagrama de relacionamento, diagrama de processos e diagrama de inter-relações de espaço (modelo de layout), obtendo os modelos de layout foi utilizado o TOPSIS para escolher qual a solução ótima entre elas, levando em consideração os critérios estabelecidos.

Para o desenvolvimento do estudo foram utilizados alguns instrumentos, dos quais foram, aplicativo Drawio o desenho do layout, software excel, fita métrica.

Figura 2 - Estrutura do modelo proposto utilizada no estudo



Fonte: Autoria própria (2019)

### **2.3 Fase de análise**

O primeiro conjunto de tarefas realizado na metodologia é a coleta de informações, tanto qualitativas como quantitativas, que foram os dados de entrada para prosseguimento do modelo. Para início foi realizado uma análise PQRST (Produto, Quantidade, Rota, Suporte e Tempo) para todas as atividades da produção, servindo como dados de entrada para análise do problema. Para a coleta foi aplicado um questionário com o gestor e observações da própria pesquisadora. As informações levantadas por meio do questionário são:

a) Identificação dos itens produzidos pela planta: Foi identificado o mix produtos que a empresa trabalha com objeto de definir qual família seria mais adequada para ser utilizar como instrumento de estudo para o desenvolvimento do trabalho, a escolha da família levou em consideração o ritmo de produção mensal de acordo com o histórico levantados do meses de janeiro a agosto de 2019, ou seja, foi escolhido itens que independente do seu volume, apresentam um ritmo constante de produção semanal, umas vez que dentro desse mix possui itens que são produzidos toda semana e outros esporadicamente.

b) Demanda: foi levantada a demanda dos produtos com base nos históricos de vendas dos últimos 8 meses (janeiro – agosto de 2019), realizando uma média simples, para obter a média de produção semanal de cada item.

c) Máquinas e equipamentos: Foi levantando a quantidade de máquinas e equipamentos disponíveis na produção, e suas dimensões. Tais informações foram utilizadas nas etapas posteriores com a finalidade de identificar o espaço físico mínimo requerido para alocação das máquinas e equipamentos.

d) Espaço disponível: Foi dimensionado o espaço disponível para o processo, com auxílio de uma fita métrica.

e) Sequenciamento de atividades do produto: Para o sequenciamento de atividades foi utilizado o diagrama de processos, com o objetivo de registrar a sequência de tarefas dos principais elementos de cada processo, e para construção do diagrama foi utilizada a simbologia adaptada pela norma ANSI Y15.3M -1979 descrita na Quadro 2.

Quadro 2 - Simbologia adotada pela Norma ANSI Y15.3M – 1979

	<b>NOME</b>	<b>AÇÃO</b>	<b>EXEMPLOS</b>
	Operação	Agregar valor	Corte, pintura, embalagem
	Espera	Atraso/retenção	Fila
	Estocagem	Armazenamento formal	Depósito, pulmão
	Transporte	Movimenta itens	Esteira, guindaste, corda
	Inspeção	Verifica defeitos	Ins. Visual, dimensionamento
	Manuseio	transfere ou classifica	Colocação na esteira
	Montagem	Operação dedicada	Montagem

Fonte: Adaptado de Neumann e Scalice (2015).

f) Tendo conhecimento da relação de produtos, o volume mensal de cada um, conseqüentemente as máquinas utilizadas, foi realizado ainda na nessa fase uma análise do fluxo de materiais com auxílio da carta de - para.

g) f) Carta de - para: a ferramenta representou o volume de peças transportadas de uma etapa para outra, entendendo o fluxo do processo. Nessa pesquisa o volume transportado de matéria prima/ peças entre as máquinas em um intervalo de 1 semana.

## 2.4 Pesquisa

Nessa fase iniciou-se a elaboração de sugestões de *layout*, respeitando os níveis de relacionamento entre o fluxo de materiais (definido na fase anterior), requisições de área (espaços físicos mínimos para alocação de matérias, equipamentos, estoques e corredores) e as limitações existentes. Para tal fim foi utilizado as seguintes ferramentas:

- a) Diagrama de relacionamento: após conhecer as atividades que se relacionam entre si com auxílio da ferramenta carta de - para, foi aplicado um questionário, com a finalidade de identificar qual o grau de importância de aproximação entre cada atividade, o questionário está no Apêndice A deste trabalho. Com o resultado do questionário foi possível categorizar os níveis de relacionamento com o auxílio do Quadro 3.

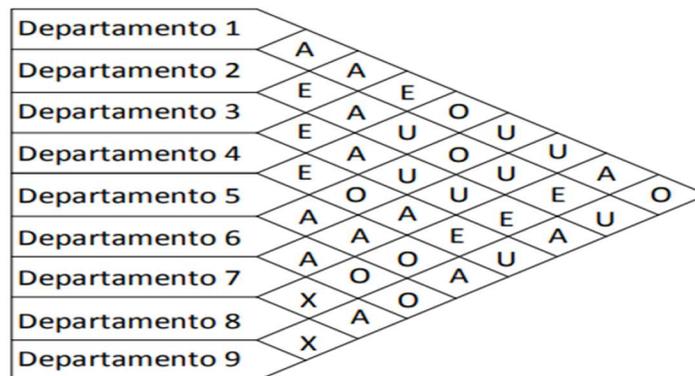
Quadro 3 - Escala de proximidade -Método SLP

Letra	Tipo de relacionamento
A	Absolutamente necessário
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Pouco importante
U	Sem importância
X	Indesejável

Fonte: Adaptado de Muther (1973)

As informações extraídas do questionário foram utilizadas no diagrama de relacionamento Figura 3, tornando-se possível a identificação de quais atividades/ máquinas devem ser próximas no *layout*.

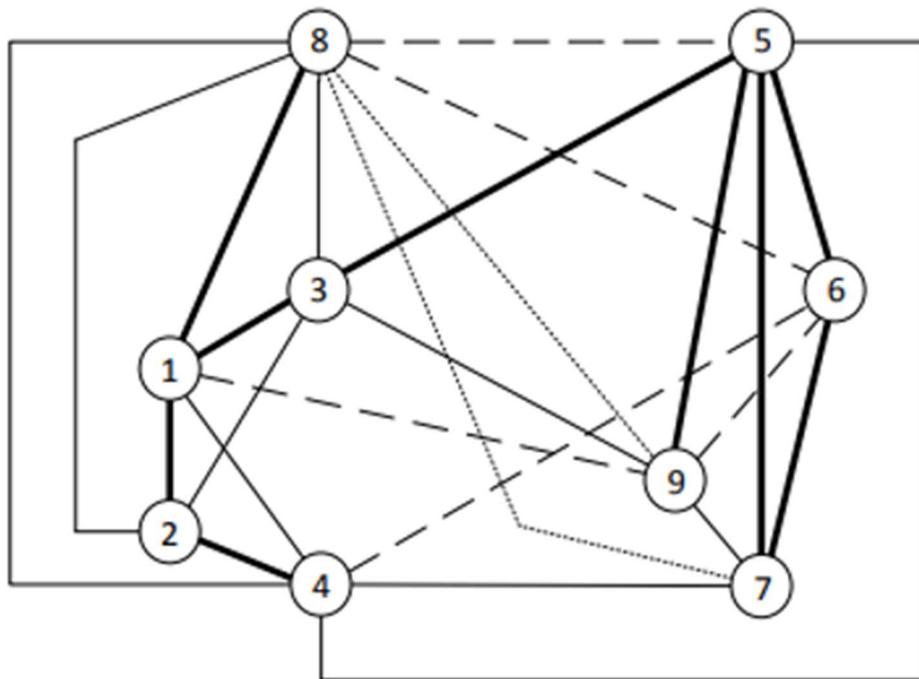
Figura 3 - Diagrama de relacionamento das atividades



Fonte: Topkins *et al.* (2010)

b) Diagrama de inter-relações: com as informações obtidas da matriz de relacionamento foi construído o diagrama exemplificando a prioridade de aproximação de cada máquina por conta do nível de relação entre as atividades Figura 4.

Figura 4 - Diagrama de inter-relações .



Fonte: Topkins *et al.* (2010)

Diagrama de inter-relação de espaço: por fim gerou um arranjo físico agregando ao diagrama de inter-relações informações como espaço físico requerido e o espaço físico disponível, os diagramas originados nessa etapa se tratam das propostas de layout desse estudo.

## 2.5 Fase de seleção

Para a escolha do melhor *layout* entre as alternativas construídas na fase anterior, foi aplicado a técnica de multicritérios TOPSIS, que por sua vez utilizou critérios de avaliações definidas com base nos critérios utilizados por Tortorella e Fogliatto (2008) de maximização de linearidade do fluxo e minimização de *re-layout*, e outros dois critérios, que foram adotados com base nas informações sobre a empresa e seu processo durante o desenvolvimento do estudo, os critérios são, de minimização de distância percorrida e cruzamentos no processo.

A distância percorrida é calculada pela somatória em metros das rotas realizada pelo produto no seu processo desde a saída do estoque de matéria prima até a chegada ao estoque de produto acabado.

O número de cruzamentos é quantidade de cruzamentos que um produto tem dentro do processo durante sua produção desde a saída do estoque de matéria prima até o estoque de

produto acabado. O cálculo de linearidade do fluxo e *re-layout* estão descritas no 2.2 deste artigo.

Com base nos critérios escolhidos e inseridos no TOPSIS na fase de seleção foram avaliados os novos *layout* propostos para que fosse possível selecionar a solução mais apropriada de readequação do *layout*.

### **3. Resultados**

A família de produtos escolhidas possui 17 itens, os quais estão listados na Tabela 1 junto as suas respectivas demandas de produção semanais. A família é composta por itens que possuem um ritmo de produção semanal constante dentro da empresa, ou seja, são itens que todas as semanas estão na linha de produção, ao contrário de outros itens do mix de produtos da empresa, que possuem uma maior variação na frequência com que são produzidos, atingindo um intervalo de 15 dias e até meses de intervalo entre uma ordem de produção e outra.

Alguns itens da família escolhida apresentam um volume de produção baixo se comprado aos outros, como o caso do PINO Ø35X220 C/FURO, porem esses itens são bastante representativos, uma vez que eles utilizam um torno convencional do qual é usado para processar somente ordens de produção com pequenas quantidades, mas somando todas a ordens representam uma parcela considerável da produção da empresa.

Tabela 1 - Amostragem de produtos e suas respectivas demandas.

<b>Descrição do Produto</b>	<b>Demanda semanal</b>
BUCHA VARÃO Ø32XØ20X80	34
PINO COM CABEÇA Ø25.5X60	22
BUCHA DO EIXO "S" Ø38XØ47,6X35,5	318
PINO DOBRADIÇA LATERAL Ø19X213	26
PINO Ø35X220 C/FURO	5
TUBO Ø32XØ20X561 1Ø1/8 NPT 4CHANF	11
TUBO Ø32XØ20X477 1Ø1/8 NPT 4CHANF	13
PINO INFERIOR PISTÃO Ø50,8X380	22
BUCHA EIXO GIRO Ø88,9XØ64X140	43
BUCHA BALANÇA Ø88,9XØ76,1X108	165
PINO Ø49,8X130 2Ø10 2CHANF	21
BUCHA TIRANTE SUPORTE SUSPENSÃO	623
BUCHA FLANG Ø98XØ84XØ53X25	175
BUCHA PINO BALANCA Ø98XØ61,5X35	174
PINO Ø38,1X120 Ø8 1CHANF	25
PONTEIRA TIRANTE MV 65X161 1Ø62 D	205
PONTEIRA TIRANTE MV 65X161 1Ø62 E	186

Fonte: A autoria própria (2019)

Dentro do setor produtivo além do espaço físico necessário para máquinas e equipamentos também é preciso o espaço para alocar *pallets*, caixas onde são armazenados os materiais, áreas de estoque e de manobra. Portanto é necessário no mínimo 467 m<sup>2</sup> de uma área de 991 m<sup>2</sup> disponíveis, conforme mostra a Tabela 2. Tais informações foram utilizadas nas etapas posteriores com a finalidade de identificar o espaço físico mínimo requerido para alocação das máquinas e equipamentos.

Tabela 2 - Maquinas e equipamentos e suas respectivas áreas

Item	Maquinas/ equipamentos	Quantidade	Área (m <sup>2</sup> )
1	Serra automática	1	4,76
2	Serra convencional	1	2,46
3	Torno CNC (Mazak)	1	5,18
4	Bancada do mazak	1	0,66
5	Torno CNC (E)	1	9,3
6	Bancada do E	1	0,66
7	Mesa de peças	1	0,63
8	Torno CNC (Index)	1	4,52
9	Bancada do Index	1	0,462
10	Furadeira manual	1	1
11	Bancada da furadeira	1	0,66
12	Torno convencional	1	4,98
13	Bancada do convencional	1	0,66
14	Torno convencional com SLP	1	6
15	Torno CNC multiplex	1	13,52
16	Bancada do multiplex	1	0,5796
17	Pallets de estoque da produção	16	0,765
19	Bancada do estoque	1	0,66
20	Pallets do estoque	1	0,765
21	Área para estoque de caixa	1	33,7
22	Área para o estoque 1	1	42,65
23	Área para estoque 2	1	10,58
24	Área para estoque de produto	1	42,7
25	Área de recebimento	1	42,3
26	Área de manobra	1	235,56
<b>TOTAL DE ÁREA NECESSÁRIA</b>			<b>465,712</b>

Fonte: Aatoria própria (2019)

Obedecendo o modelo foi feito o sequenciamento de atividades por meio de diagrama de processos e como dentro da família há processos semelhantes, e que de um modo geral seguem a seguinte ordem, corte, torneamento e furo, onde para cada peça em particular algumas das etapas citadas pode ser eliminada, foi necessário dividir a família em 7 grupos, e construir um diagrama para cada um deles.. O maquinário da empresa é composto por tornos, serras e furadeiras, porém mesmo algumas máquinas executando a mesma função como o caso dos tornos, cada tipo de produto é destinado a um torno, serra ou furadeira específica, de acordo

com a sua capacidade de processo e particularidades da peça, como tamanho, peso e complexidade do seu desenho.

Para facilitar a compreensão do diagrama de processos, cada grupo foi organizado no Figura 5, onde cada máquina possui suas respectivas sigla e cor conforme Quadro 4.

QUADRO 4. Legenda de auxílio para o diagrama de processo.

	<b>Máquina</b>	<b>Sigla</b>
	Serra semi automática	S1
	Serra automática	S2
	Estoque de MP 1	E1
	Estoque de MP 2	E2
	Estoque de produto	EP
	Furadeira manual	F1
	Furadeira automática	F2
	Torno Mazak	M1
	Torno convencional	M2
	Torno Romi E	M3
	Torno Mazak Multiplex	M4
	Torno Index	M5
	Torno CLP	M6

Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 5 - Diagrama de processo

DESCRIÇÃO DO PRODUTO	SEQUENCIA DO PROCESSO
BUCHA VARÃO Ø32XØ20X80 PINO COM CABEÇA Ø25.5X60 BUCHA DO EIXO "S" Ø38XØ47,6X35,5	E1 → S1- Corte → M1-Usinagem → F1 – Furo → Estoque
PINO DOBRADIÇA LATERAL Ø19X213 PINO Ø35X220 C/FURO TUBO Ø32XØ20X561 1Ø1/8 NPT4CHANF TUBO Ø32XØ20X477 1Ø1/8 NPT4CHANF	E1 → S1- Corte → M2-Usinagem → F1 – Furo → Estoque
PINO INFERIOR PISTÃO Ø50,8X380 BUCHA EIXO GIRO Ø88,9XØ64X140 PINO Ø38,1X120 Ø8 1CHANF	E1 → S2- Corte → M3-Usinagem → F1 – Furo → Estoque
PINO Ø49,8X130 2Ø10 2CHANF	E1 → S2- Corte → M3-Usinagem → F2 – Furo → Estoque
BUCHA TIRANTE SUPORTE SUSPENSÃO BUCHA FLANG Ø98XØ84XØ53X25 BUCHA PINO BALANCA Ø98XØ61,5X35	E1 → S2- Corte → M4-Usinagem → Estoque
BUCHA BALANÇA Ø88,9XØ76,1X108	E1 → S2- Corte → M3-Usinagem → Estoque
PONTEIRA TIRANTE MV 65X161 1Ø62 D PONTEIRA TIRANTE MV 65X161 1Ø62 E	E1 → M3 - Usinagem → M5-Usinagem → Estoque

Fonte: Autoria própria (2019)

Após compreender a sequência de atividades que envolve o processo foi construída a carta de - para representando o volume de peças transportadas de uma etapa para outra desde o estoque de matéria prima até o estoque de produto acabado conforme descrito na Figura 5. O volume transportado de matéria prima/ peças entre as máquinas em um intervalo de 1 semana.

Figura 5 - Carta de – para

DE \ PARA	S1	S2	M1	M2	M3	M4	M5	M6	F1	F2	E1	E2	EP
S1		0	374	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0		0	0	276	972	0	0	0	0	0	0	0
M1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0		0	391	0	0	0	0	0	165
M4	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	972
M5	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	391
M6	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	429
F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	21
E1	429	1248	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
E2	0	0	0	0	391	0	0	0	0	0	0		0
EP	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Autoria própria (2019)

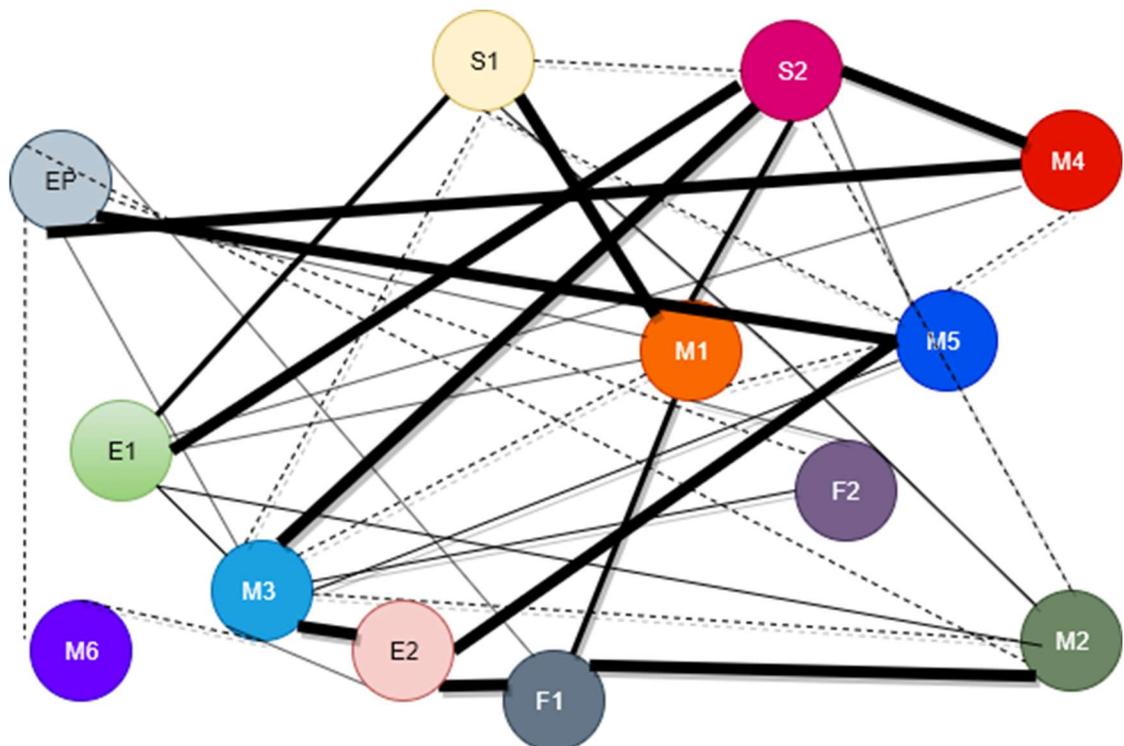
Foi construído um diagrama de relacionamento, Figura 6, conforme informações obtidas até então por meio do desenvolvimento do SLP, o mesmo foi utilizado para construir o diagrama de inter-relações Figura 7, o qual gerou um arranjo físico prévio que foi usado como base para elaborar as quatro propostas de *re-layout* desse estudo.

Figura 6 - Diagrama de relacionamento

	S2	S1	M1	M4	M5	M3	M2	F1	F2	M6	E1	E2	EP
S2		O	E	A	I	A	U	U	U	U	A	U	U
S1	O		A	U	O	O	I	U	U	U	E	U	U
M1	E	A		U	O	O	U	I	E	U	I	U	i
M4	A	U	U		O	U	U	U	U	U	I	U	A
M5	I	O	O	O		I	U	U	U	U	U	A	A
M3	A	O	O	U	I		U	U	U	U	I	I	I
M2	O	I	U	U	U	O		U	A	U	I	U	O
F1	U	U	I	U	U	I	U		U	U	U	U	O
F2	U	U	E	U	U	A	A	U		U	U	U	I
M6	U	U	U	U	U	O	U	U	U		U	U	O
E1	A	E	I	I	U	I	I	U	U	U		U	X
E2	U	U	U	U	A	I	U	U	U	U	U		X
EP	U	U	i	A	A	I	O	O	I	O	X	X	

Fonte: Autoria própria (2019)

Figura - Diagrama de inter-relações



Fonte: Autoria própria (2019)

A espessura das linhas que representam as ligações entre os equipamentos simbolizam o grau de importância de relacionamento entre cada um conforme adotado no diagrama de relacionamento

Após a definição do diagrama de inter-relações foram inseridas à suas configurações as seguintes informações:

- Distância mínima entre máquinas de 1,5m: Para atender as medidas de segurança sugeridas pela NR- 12 em que traz a adoção de uma distância mínima entre máquinas garantindo a segurança do processo e dos trabalhadores, foi decidido utilizar uma distância de mínimo de 1,5 metros entre as máquinas.

- Torno convencional (M2): o torno convencional é uma máquina que se difere dos tornos CNC em alguns aspectos, um deles é o fato de não ser enclausurado, com isso durante o processo de usinagem o cavaco (resíduo do processo) é liberado em volta da máquina, portanto foi recomendado pelo gestor da empresa que esse torno permanecesse a uma distância mínima de 2 metros das demais máquinas.

- Torno Multiplex (M4): não é possível movimentar o torno M4 pois o mesmo está fixado ao chão e sua remoção não é viável financeiramente.

- Estoque de matéria prima (E1) e Serra automática (S2): é importante que o estoque e a serra automática permanecem nas posições atuais, considerando que estão em pontos estratégicos da fábrica, isso porque, a matéria prima manuseada que abastece o estoque se trata de barras de aço de 6 metros de comprimento, tornando inviável a movimentação dela entre os corredores, conseqüentemente a serra automática também precisa estar perto do estoque de matéria prima, pelo fato da S2 cortar barras mais pesas que só são transportadas por empilhadeira, já as barras leves podem ser carregadas nas próprias mãos dos operadores, por isso a serra semi automática (S1) não exige estar perto do E1.

- Estoque de produto acabado EP: quanto ao estoque EP é importante sua permanência no mesmo local pelo fato de ficar próxima a área de expedição.

Considerando as limitações e recomendações atribuídas ao estudo foi elaborado 4 novos modelos de *layout* com o auxílio do software Draw.io, também foi feito o *layout* atual da empresa dos quais estão representados respectivamente nos apêndices B C , D, E e F . Neles constam também a rota de cada grupo de produtos conforme definido no diagrama de processo Figura 5. Os elementos que não podem ser movimentados estão destacados de cor vermelha nos modelos de *layout*.

Sendo assim após construir as propostas de *layout* fornecidas pelo SLP, foram traçadas as rotas dos 7 grupos de processo tornando-se possível o levantamento de dados como: distancias percorrida, cruzamentos, *re-layout* e linearidade do processo, como mostrado na Tabela 3 para uma futura análise pelo TOPSIS.

Tabela 3- Distância percorrida e número de cruzamentos por grupo

<b>Modelo</b>	<b>Distância percorrida</b>	<b>Nº de cruzamentos</b>	<b>Linearidade</b>	<b>Re-layout</b>
<i>Layout</i> 1	319,99	4	5,881	0,5625
<i>Layout</i> 2	322,34	4	5,839	0,5625
<i>Layout</i> 3	291,89	3	6,448	0,625
<i>Layout</i> 4	322,9	4	5,828	0,625

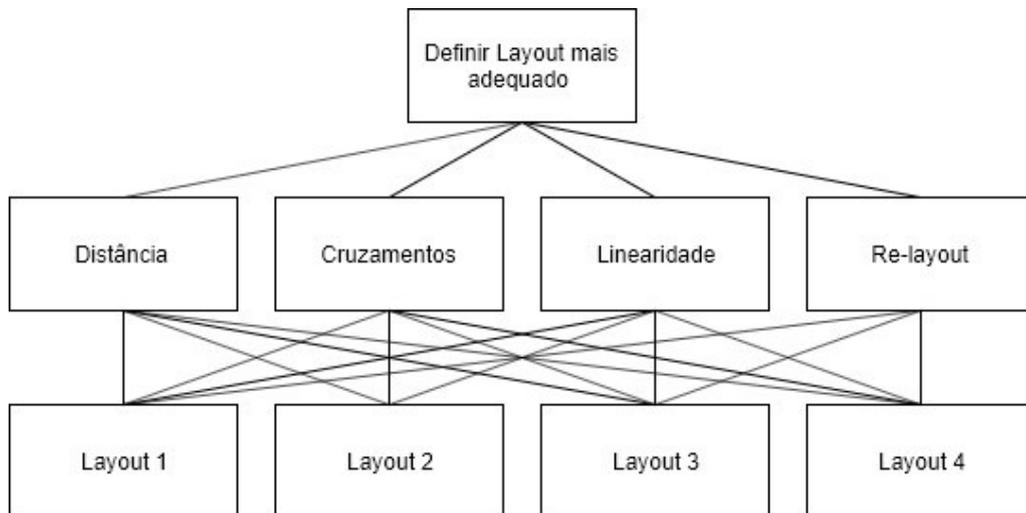
Após extrair as informações citadas na tabela 4 dos novos modelos de *layout*, os mesmos foram utilizados para seleção do *layout* por meio do TOPSIS, com o objetivo de identificar a melhor alternativa entre os 4 modelos de *layout* elaborados avaliando a ponderação dos benefícios e limitações de cada modelo.

Logo a matriz hierárquica foi construída apresentando os 4 critérios que são avaliados neste estudo.

- **C1: Distância percorrida pelo produto no processo (m)**
- **C2: N° de cruzamentos**
- **C3: Linearidade do processo un/m**
- **C4: Re-layout**

Em seguida foi determinada a matriz hierárquica do problema conforme Figura 8 .

Figura 8- Matriz hierarquica



Fonte: Autoria própria (2019)

Conforme pode ser observado todos na figura 5 todos os critérios são avaliados para cada modelo de *layout* proposto, destacando-se que os critérios C1, C2 e C4 são de minimização e o C3 de maximização. Sendo assim a partir dos dados da tabela 6 e a matriz hierárquica figura 5, foi construída a matriz de decisão conforme Tabela 4.

Tabela 4- Matriz de decisão

Alternativas	Critérios			
	C1	C2	C3	C4
	-	-	+	-
Nível de Importância	0,25	0,25	0,25	0,25
A1	319,99	4	5,881	0,5625
A2	322,34	4	5,839	0,5625
A3	291,89	3	6,448	0,625
A4	322,9	4	5,828	0,625

Fonte: Autoria própria (2019)

Ainda na Matriz de decisão consta o nível de importância atribuído para cada critério, do qual foi distribuído igualmente para cada um deles, uma vez foi estabelecido que todos possuem um grau de importância equivalente para escolha do *layout*.

Em seguida, os cálculos seguiram as etapas de aplicação do TOPSIS conforme descrito no item 2.3 da revisão de literatura. Resultando na Tabela 5, onde é estabelecido o *ranking* entre as propostas.

Tabela 5 – Determinação da proximidade relativa da alternativa i em relação a solução ideal C\*

Alternativas	Critérios			
	Ai*	Ai-	C*	TOPSIS RANKING
A1	0,03688	0,013237	0,264117	3
A2	0,037466	0,013143	0,259702	4
A3	0,01314	0,03761	0,741088	1
A4	0	0,256897	1	2

Fonte: Autoria própria (2019) (2019)

Dessa forma notou-se que a última alternativa (A4), foi o modelo mais adequado para a mudança de *layout*, reestruturando todo o setor produtivo. A alternativa é considerada uma solução ótima entre as 4 propostas, pelo fato de melhor atender as condições dos critérios, sendo a menor distância percorrida, menor número de cruzamentos, menor *re-layout* e maior linearidade do fluxo de materiais.

#### 4. Conclusão

O estudo realizado no setor produtivo de uma empresa do setor metal mecânico permitiu analisar e compreender melhor o processo de usinagem de peças de aço, assim como o fluxo de matérias, essas informações foram primordiais para determinar as necessidades e restrições de um *layout*.

Com o *layout* atual do setor estudado e os dados coletados, foi possível observar que a empresa dispõe de uma área ampla, mas que precisa de um melhor aproveitamento dessa área, isso se deve ao fato de não ter seguido uma metodologia de *layout* apropriada para sua implantação e também porque algumas máquinas e equipamentos que estavam na fábrica foram retiradas por conta de suas vendas, deixando um espaço não ocupado na produção.

Através do uso da ferramenta SLP, foi possível analisar os espaços e a construção das quatro alternativas as quais foram analisadas com auxílio da técnica TOPSIS, possibilitando a seleção da alternativa que mais se aproximou da solução ótima de *layout* do algoritmo. A solução 4 eleita pelo TOPSIS como a mais próxima da ideal atendeu a todos os critérios estipulados para o estudo, validando o modelo híbrido proposto.

A hibridização da metodologia SLP com a técnica TOPSIS além de atingir um resultado mais preciso, se mostrou de simples compreensão, execução e também viável economicamente, dado que para o desenvolvimento do modelo não são necessárias o uso de ferramentas de alto

custo, ou a contratação de um especialista, uma vez que um funcionário da própria empresa, devidamente instruído em relação ao modelo e com um nível de conhecimento adequado sobre a processo, pode perfeitamente executar o modelo.

Portanto, os resultados obtidos pelo modelo proposto nesse estudo foram satisfatórios, e serão analisados pela direção da empresa, com o objetivo de ser utilizados futuramente.

## **Referências**

- AMARO, G. D.; LIMA JUNIOR, F. R. **Aplicação do Método Fuzzy-TOPSIS no Apoio à Seleção de Fornecedores “Verdes”**. In: XVII ENGEMA, São Paulo, 30 de novembro e 01 de dezembro de 2015.
- COSTA, LUCIANO S.; GOHR, CLÁUDIA F.; LAITANO, JEAN C. A. **Planejamento sistemático de layout: Adaptação e aplicação em operações de serviços**. Revista Gestão Industrial v. 08, n. 01: p. 01-21, 2012.
- GOES, EVANDRO. **Proposta de layout em uma empresa de médio porte do setor metal mecânico da cidade de Maringá**. Universidade Estadual de Maringá; 2016.
- HWANG, C. L.; YOON, K. **Multiple Attribute Decision Making – Methods and Applications**. New York: Springer-Verlag (1981).
- KANNAN, V. R. **Analyzing the Trade-off Between Efficiency and Flexibility in Cellular Manufacturing Systems**. Production Planning & Control, v. 9, n.4, p. 572-579, 2010.
- KERNS, F. **Strategic Facility Planning (SFP)**. *Work Study*, v. 48, p. 176-181, 1999
- KOVÁCS, GYÖRGY.; KOT, SEBASTIAN. **Facility Layout Redesign For Efficiency Improvement And Cost Reduction**. Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, v.16 n. 1, p.63-74, 2017.
- LEE, Q. **Projeto de Instalações e Local de Trabalho**. São Paulo: IMAM, 1998.
- LIN, L. C.; SHARP, G. P. **Application of the integrated framework for the plant layout evaluation problem**. European Journal of Operational Research, n. 116, p. 118-138, 1999.
- MOATARI, AFROOZ K. **Integrating Occupational Health And Safety In Facility Planning And Layout Design**. Universidade de Montreal; 2014.
- MUTHER, R. **Systematic Layout Planning**. 2.ed. Boston: Cahnners Books, 1973.
- ROCHA, LAIANE L. C. **Utilização do método slp para melhoria de layout em uma metalúrgica de pequeno porte “Fundação de Ensino Eurípidos Soares da Rocha”** Centro Universitário Eurípidos de Marília, 2015.
- NEUMANN, Clóvis & SCALICE, Régis Kovacs. **Projeto de fábrica e layout**. 1. Ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SHAYAN, E.; CHITILAPPILLY, A. **Genetic algorithm for facilities layout problems based on slicing tree structure. International Journal of Production Research**, v. 42, n. 19, p. 4055-4067, 2004.

SILVA, ALESSANDRO L.; RENTES, ANTONIO F. **Um modelo de projeto de layout para ambientes job shop com alta variedade de peças baseado nos conceitos da produção enxuta. Revista Gest. Prod., São Carlos**, v. 19, n. 3, p. 531-541, 2012.

SLACK, Niguel. Et. Al. **Administração da Produção**. 2. Ed. São Paulo:Atlas, 2008.

TOMPKINS, J. A.; WHITE, J. A. A.; BOZER, Y.; TANCHOCO, J. M. A. **Facilities Planning**. 4 ed. EUA: John Wiley & Sons, (2010).

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S. **Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. Revista Produção**, v. 18, n. 3, p. 609-624, 2008.

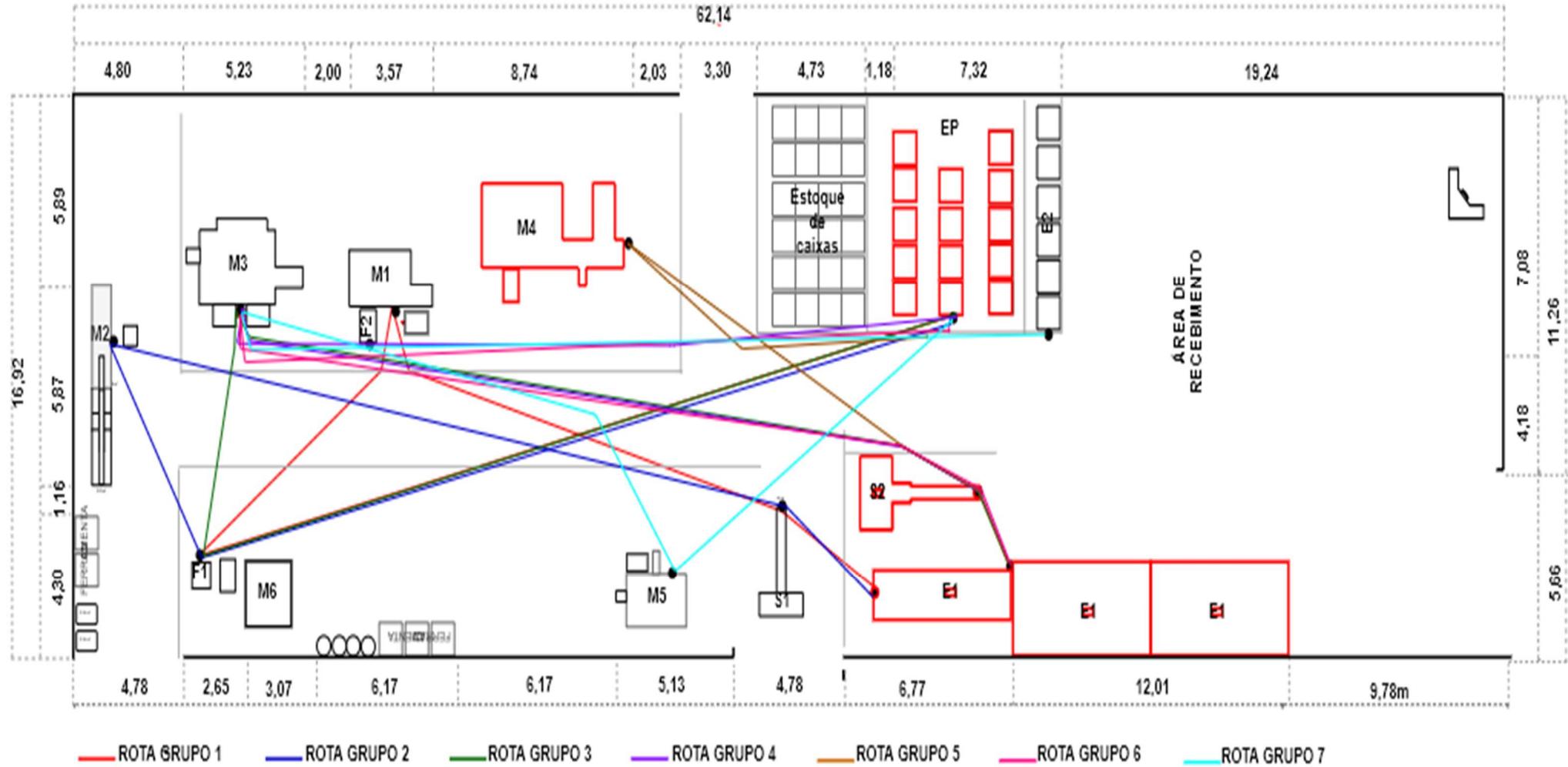
YANG, T.; CHAO-TON, S.; YUAN-RU, H. **Systematic layout planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. International Journal Of Operations Production Management**, vol. 20, n. 11, p. 1359-71, 2000.

ZEYNEP DU DURMUSOGLU. **A TOPSIS-based approach for sustainable layout design: activity relation chart evaluation. Kybernetes**, Vol. 47 Emissão: 10, pp.2012-2024,2018.

### **APÊNCIDE A – QUESTIONARIO**

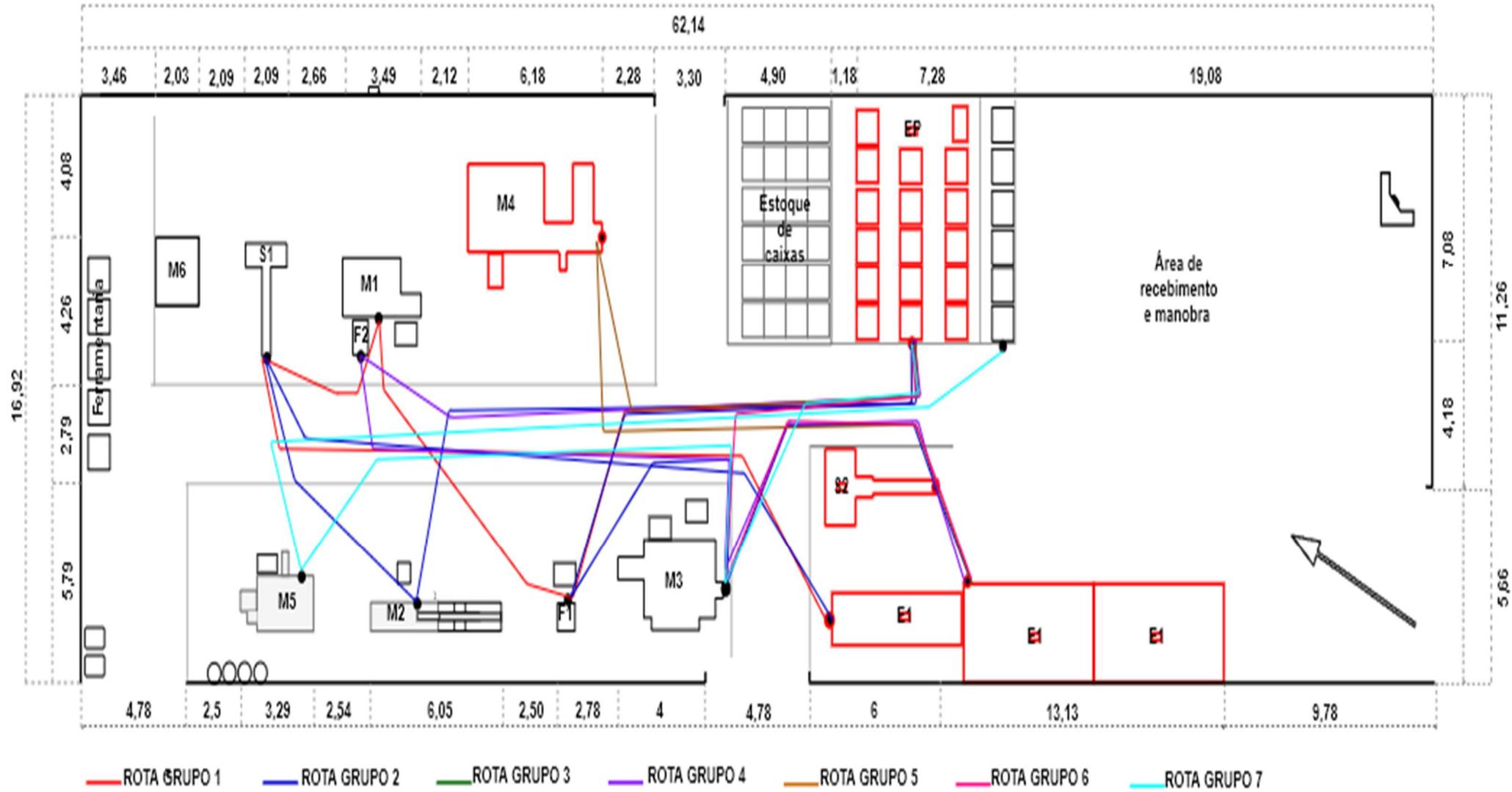
- a) Quais são os produtos que a empresa industrializa?
- b) Qual família de produtos é considerada mais relevante?
- c) Qual é o processo de produção para cada item da família?
- d) Quais as suas demandas?
- e) A empresa trabalha com produção puxada ou empurrada?
- f) Quais são as máquinas e equipamentos utilizados na produção?
- g) De uma forma geral cada item pode produzido em qualquer máquina por se tratar na maioria de tornos?
- h) Quais maquinas e setores são primordial ficarem próximas?
- i) Quais maquinas e setores tem pouca importância estarem próximas?
- j) Há maquinas ou setores que não podem estar próximos?
- k) Há maquinas e equipamentos que não são permitido suas movimentações?
- l) Qual é a área disponível para o rearranjo do *layout*?

**APÊNDICE B – LAYOUT ATUAL**

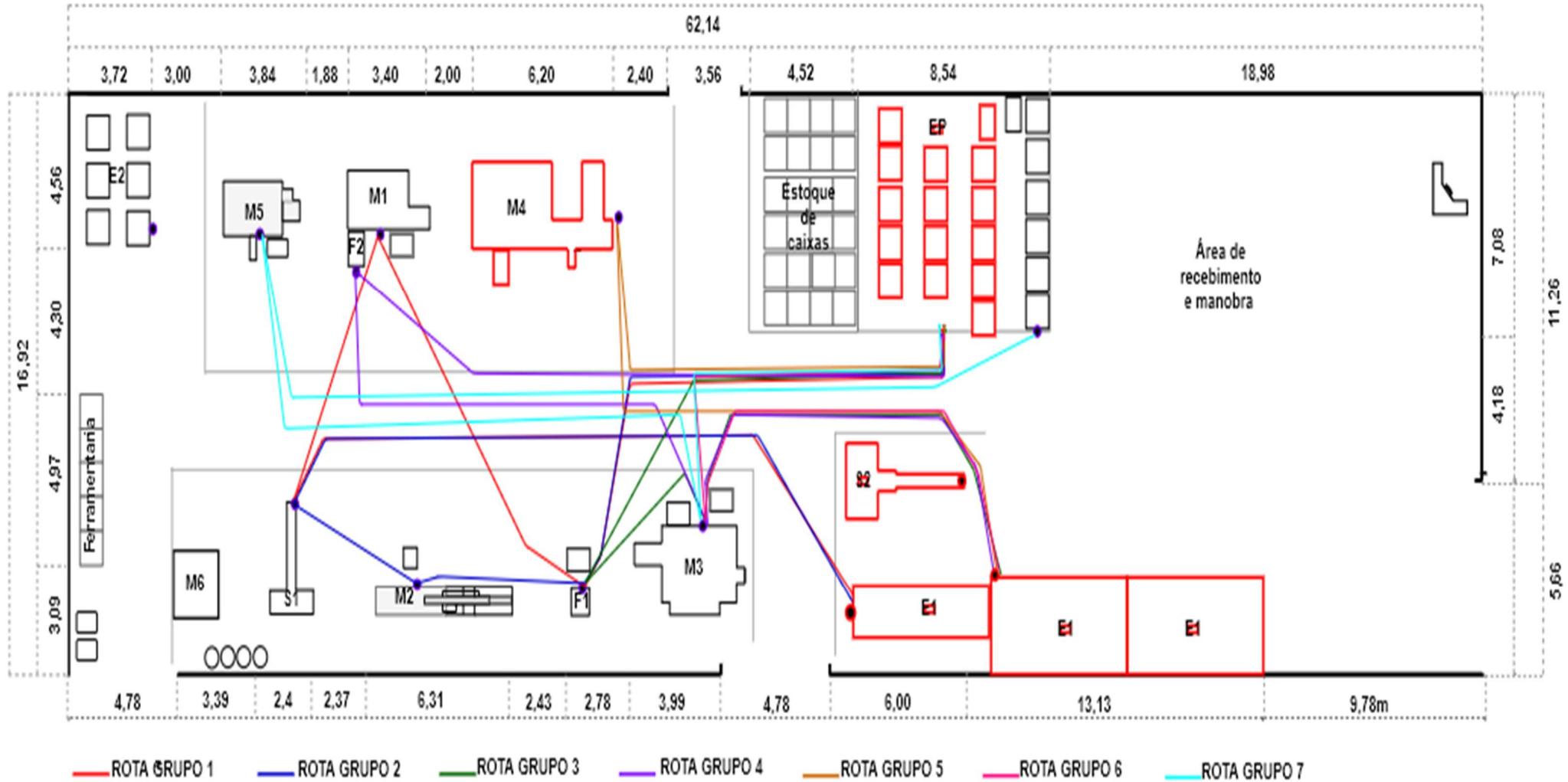


ESCALA 1:100

**APÊNDICE C – LAYOUT 1**

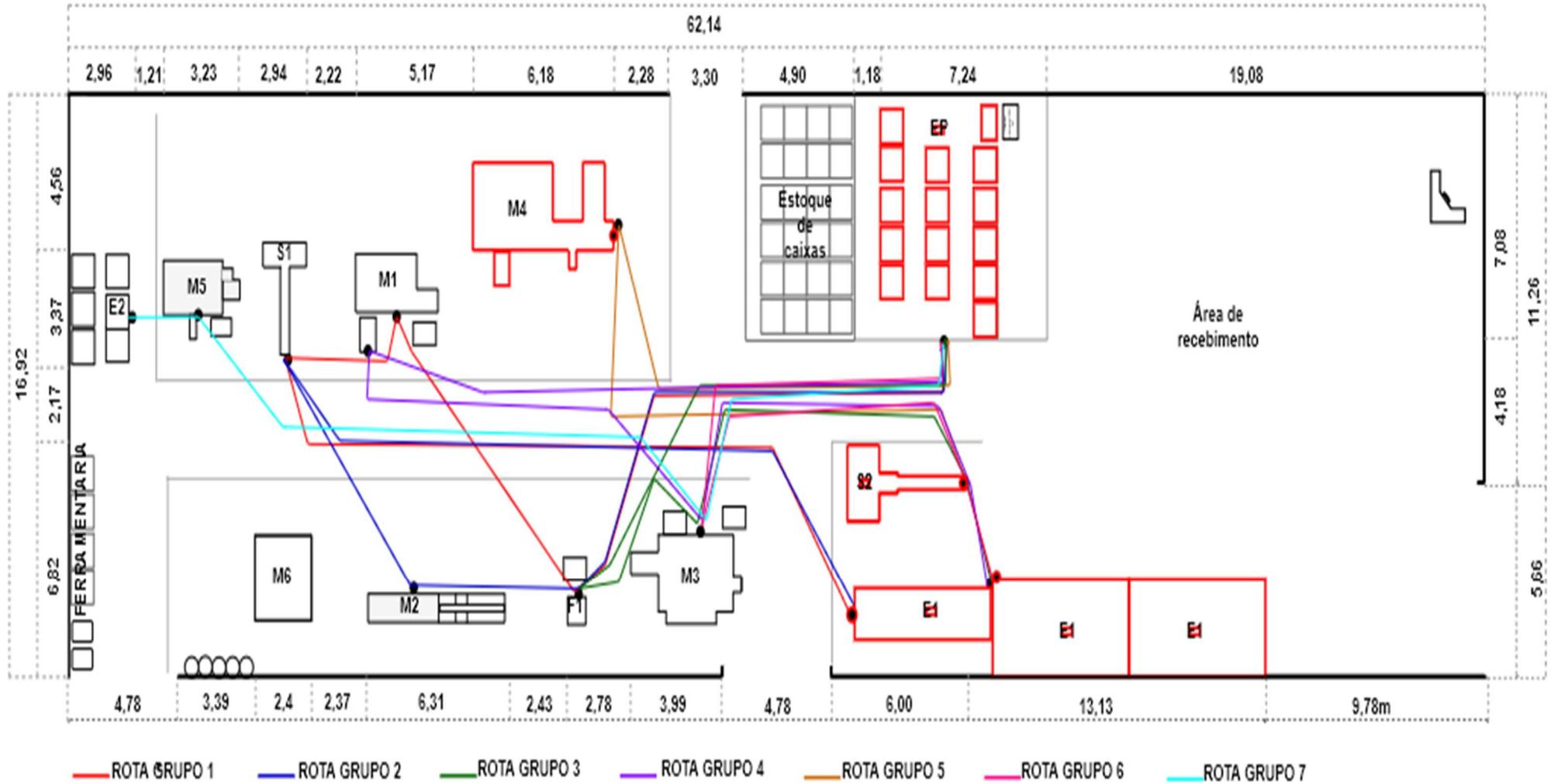


**APÊNDICE D – LAYOUT 2**



ESCALA 1:100

**APÊNDICE E – LAYOUT 3**



ESCALA 1:100

**APÊNDICE F – LAYOUT 4**

