

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ANGELA REGINA BEM

**ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO E PROPOSTA DE
MELHORIAS NO ARRANJO FÍSICO E NO PROCESSO PRODUTIVO
DE UMA INDÚSTRIA DE MOSAICOS: UM ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2013

ANGELA REGINA BEM

**ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO E PROPOSTA DE
MELHORIAS NO ARRANJO FÍSICO E NO PROCESSO PRODUTIVO
DE UMA INDÚSTRIA DE MOSAICOS: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná câmpus Medianeira, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos

MEDIANEIRA

2013

FOLHA DE APROVAÇÃO

ANÁLISE DO PROCESSO PRODUTIVO E PROPOSTA DE MELHORIAS NO ARRANJO FÍSICO E NO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA INDÚSTRIA DE MOSAICOS: UM ESTUDO DE CASO

Por

ANGELA REGINA BEM

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 14h do dia 08 de agosto de 2013 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Msc. Carine Cristiane Machado Urbim Pasa
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Msc. Neron Alipio Cortes Berghauser
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. José Aírton Azevedo dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A versão assinada deste documento encontra-se na coordenação do curso.

*A meu pai João, minha mãe Marlise, minha irmã Carla e meu irmão
Eduardo.*

AGRADECIMENTOS

Agradecimento muito especial a toda a minha família, pois sem o apoio deles provavelmente não teria chegado tão longe.

Aos meus colegas, e principalmente aos amigos que conquistei ao longo destes cinco anos na UTFPR.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Airton, pela colaboração e paciência durante a elaboração do trabalho.

A empresa foco do estudo que abriu suas portas e aos funcionários que me ajudaram durante o período em que lá estive.

Agradeço também a todos os Professores que me deram todo suporte e conhecimento ao longo deste período na universidade, aos Senhores e Senhoras toda minha gratidão.

A todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

E eu que já não sou assim, muito de ganhar,

Junto às mãos ao meu redor,

Faço o melhor que sou capaz,

Só pra viver em paz!

(O Vencedor – Los Hermanos)

RESUMO

BEM, Angela Regina. Análise do processo produtivo e proposta de melhorias no arranjo físico e no processo produtivo de uma indústria de mosaicos: um estudo de caso. Trabalho de Conclusão de Curso – Coordenação de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de técnicas de simulação computacional, o processo produtivo de uma indústria de mosaicos. Objetiva-se também por meio da visão sistêmica obtida da simulação computacional propor um novo arranjo físico para empresa, que se ajuste melhor aos principais processos envolvidos na fabricação. O modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no *software* de simulação Arena®. Como parâmetro de comparação entre os dados obtidos a partir do sistema e gerados pelo modelo foi selecionado a variável NMP (Número de Mosaicos Produzidos). Foi observado durante a simulação que a modificação do arranjo físico da indústria não traria ganhos significativos de tempo na produção, porém foi demonstrado que a utilização de mais um funcionário para atender os setores de montagem e colagem reduz o tempo de processo de aproximadamente 2h30min. Foi proposta uma nova configuração no arranjo físico da indústria e do processo em estudo para diminuir principalmente os tempos do transporte das pedras e evitar os cruzamentos durante os processos.

Palavras-chave: Arena®; Modelo de Simulação; Mosaicos; *Layout*.

ABSTRACT

BEM, Angela Regina. Analysis of the production process and proposed improvements in physical arrangement and the production process of a mosaic industry: a case study. Course Work Conclusion - Coordination of Production Engineering, Federal Technological University of Paraná. Medianeira, 2013.

This work aims to analyze, through computer simulation techniques, the production process of a mosaic industry. The objective is also through the systemic view obtained from computer simulation to propose a new physical arrangement for company, which could best fit to the main processes involved in manufacturing. The model dynamic, discrete and stochastic has been implemented in simulation software Arena ®. As a comparison between the data obtained from the system and generated by the model was selected variable NMP (Number of Mosaics Produced). It was observed that during the simulation the modification of the physical arrangement of the industry would not provide significant gains in production time, but it has been shown that the use of another worker to serve the sectors of assembling and gluing reduces the process time of approximately 2h30min. It was proposed a new configuration in the physical arrangement of the industry and the process under study to reduce transport times, mainly of stones, and avoid the crossings during the processes.

Keywords: Arena ®; Simulation Model; Mosaics; Layout.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Arranjo posicional – Linha de montagem de um centro cirúrgico.....	22
Figura 2	- Arranjo por processo.....	23
Figura 3	- Arranjo físico celular.....	25
Figura 4	- Arranjo físico em linha (em forma de U).....	26
Figura 5	- Arranjo misto – Complexo de restaurantes.....	27
Figura 6	- Área de trabalho inicial do Arena®.....	34
Figura 7	- <i>Reports</i>	35
Figura 8	- <i>Input Analyzer</i>	36
Figura 9	- <i>Output Analyzer</i> – Intervalo de confiança.....	37
Figura 10	- <i>Process Analyzer</i> – Gráfico de colunas.....	38
Figura 11	- Etapas para um estudo de modelagem e simulação.....	41
Figura 12	- Figura 12 – Produtos da indústria de mosaicos estudada (mosaico, faixas e tozeto, respectivamente).....	42
Figura 13	- Fluxograma do processo de fabricação de mosaicos em estudo.....	43
Figura 14	- Depósito de pedras.....	44
Figura 15	- Corte manual.....	45
Figura 16	- <i>Boxplot</i> – TCL.....	50
Figura 17	- Modelo computacional.....	52
Figura 18	- Arranjo físico atual da indústria.....	54
Figura 19	- Arranjo físico do processo em estudo.....	55
Figura 20	- Processo do novo arranjo físico do processo em estudo.....	56
Figura 21	- Proposta do novo arranjo físico para a indústria.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	-	Identificação de <i>outliers</i>	46
Quadro 2	-	Distribuição de probabilidades.....	50
Quadro 3	-	Dados do sistema real e do modelo computacional.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Análise dos dados - TLC.....	49
Tabela 2	-	Resultados da simulação dos cenários 1 e 2.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo
h	Hora
m ²	Metros quadrados
m ³	Metros cúbicos
min	Minutos
Mt	Milhões de toneladas

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABRIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
PO	Pesquisa Operacional
SOBRAPO	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
2 REVISÃO LITERÁRIA.....	17
2.1 MOSAICOS.....	17
2.1.1 Histórico dos mosaicos.....	17
2.1.2 Setor mundial e brasileiro de produção de rochas ornamentais.....	18
2.2 ARRANJO FÍSICO.....	20
2.3 PRINCÍPIOS DO LAYOUT.....	28
2.4 PESQUISA OPERACIONAL.....	28
2.5 SIMULAÇÃO.....	30
2.6 <i>SOFTWARE ARENA®</i>	32
2.6.1 <i>Input Analyzer</i>	36
2.6.2 <i>Output Analyzer</i>	37
2.6.3 <i>Process Analyzer</i>	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 TIPO DE EMPRESA.....	39
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	42
3.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	42
3.4 COLETA DE DADOS.....	45
3.5 NÚMERO DE REAPLICAÇÕES.....	46
3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO.....	47
3.7 TAMANHO DA AMOSTRA.....	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 TRATAMENTO DOS DADOS.....	49
4.2 VALIDAÇÃO DO MODELO IMPLEMENTADO.....	51
4.3 SIMULAÇÃO.....	51
4.4 ARRANJO FÍSICO.....	54
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial iniciou um processo de transformação da maneira pela qual os produtos eram confeccionados através da instalação de máquinas e processos em linha, acarretando na produção em grande escala. Este período foi responsável pelo desenvolvimento das grandes indústrias e corporações, abdicando seus objetivos, que desde então variaram do simples fato de se produzir e comercializar, ainda que em pequena escala, para um padrão automatizado, sempre que possível, que economize recursos e tempos, e que principalmente, gere e aumente o lucro.

Uma das formas de se alcançar o lucro é alargando-se a eficiência da indústria através de um maquinário apropriado, de colaboradores devidamente treinados e especializados, da maximização do uso da matéria-prima, e, por conseguinte a diminuição de desperdício, entre outras medidas tomadas a fim de diminuir os gastos da produção. A eficiência refere-se à relação entre os resultados obtidos e os recursos empregados.

Dentro de uma indústria são diversos os fatores que podem influir na maximização de um processo e que podem relacionar-se diretamente no lucro obtido pela corporação. Sendo assim adequação do arranjo físico é um fator preponderante no sucesso da organização, pois ele tanto pode influir positivamente, quando adequado à produção e ao espaço, quanto negativamente, quando não se tem um planejamento prévio e uma linha de produção balanceada, grandes distâncias entre o maquinário, estoques, almoxarifado, expedição e outros setores dentro das indústrias.

As mudanças do meio industrial ao longo dos anos fizeram com que as indústrias percebessem a necessidade de se ter um sistema de produção mais flexível, facilitando que futuras reorganizações no processo, produto, gestão, em todos os setores, a fim de salientar características ou criar uma maior competitividade do mercado.

O arranjo físico deveria ser um quesito primordial na concepção de uma linha de produção, processo ou indústria, pois a forma como o produto é concebido na sua produção interfere diretamente nos custos. Com este propósito, o estudo do

arranjo físico visa melhorar a disposição de equipamentos e maquinários, setores de apoio à produção e demais itens ligados diretamente ao processo produtivo.

A reorganização do arranjo físico exige, na maioria das vezes, flexibilidade, disponibilidade e tempo, podendo em certos casos parar a produção por longos períodos devido à movimentação desnecessária e realocação dos recursos produtivos.

As indústrias contidas nos setores envolvidos na construção civil estão em um momento favorável por conta do incentivo à construção que o Governo Federal vem aplicando junto ao País, portanto é de suma importância para este ramo a fabricação de seus produtos enquanto o setor permanece aquecido, aumentando assim sua participação na economia e conseqüentemente o giro de caixa da organização. Segundo dados do IBGE (2011) a produção de revestimentos cerâmicos alcançou mais de 666 milhões de unidades, e destas mais de 665 milhões foram vendidas.

Uma ferramenta importante para que as indústrias possam planejar e estudar a produção, bem como a melhor maneira de operá-la e organizá-la, é utilizando a simulação. Estas ferramentas podem ser aplicadas aos mais variados tipos de estabelecimentos, normalmente seu custo é baixo e tem a grande vantagem de permitir diversas alterações sem que a produção ou o processo em estudo sofra não nenhum impacto.

Este estudo se propõe a adaptar o arranjo físico de uma indústria de mosaico de pequeno porte, a fim de diminuir os tempos de produção e adequá-lo para que o espaço seja mais bem aproveitado, alocando as máquinas e equipamentos da melhor maneira possível, diminuindo assim o percurso dentro do local.

1.1 OBJETIVO GERAL

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo simular a dinâmica operacional de um processo de fabricação de mosaicos, propondo através deste

procedimento melhorias no processo produtivo, e por meio da observação e da visão sistêmica, apresentar um novo arranjo físico para a indústria.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para que o objetivo geral pudesse ser alcançado, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) análise do fluxo produtivo da empresa por observação;
- b) construção do modelo conceitual do processo produtivo;
- c) construção do modelo computacional do processo produtivo;
- d) validação do modelo computacional através de técnicas estatísticas;
- e) sugestão de modificações no arranjo físico da indústria, caso estas forem necessárias.

1.3 JUSTIFICATIVA

As novas tecnologias estão cada vez mais sendo empregadas nas empresas com o objetivo de melhorar seus processos e produtos, sob o foco de se obter uma parcela mais significativa do mercado. Para que a organização possa continuar ativa neste mercado competitivo, algumas ações na parte produtiva estão sendo tomadas, como redução do tamanho do lote de produção, aumento da qualidade, reduções de desperdícios, entre outros.

Law e Kelton (2000), já mencionavam este fato, pois com esta pressão as empresas estão se mobilizando e procurando racionalizar toda sua cadeia produtiva: melhorando processos, investindo em novos equipamentos, implantando novos sistemas de gestão, reorganizando layouts, reduzindo estoques. Sendo assim, Prado (2010) afirma que este movimento requer ferramentas de planejamento mais avançadas e sofisticadas, em seu poder de suprir os gestores de informações confiáveis para a tomada de decisões, assim sendo, a simulação computacional vem

mostrando-se com uma ferramenta com grande potencial de apoio as decisões estratégicas.

Quando a empresa fica limitada ao crescimento produtivo, permanece estagnada nas suas limitações físicas por conta de um arranjo inapropriado, esta poderá perder futuros clientes e conseqüentemente grandes negócios acarretando perda de lucratividade, e eventualmente, o encerramento do negócio.

Sob este foco, este trabalho pretende aplicar a simulação computacional no auxílio para a obtenção de melhorias no processo produtivo através da diminuição dos tempos de produção e adequação do arranjo físico existente para a indústria em estudo.

2 REVISÃO LITERÁRIA

2.1 MOSAICOS

2.1.1 Histórico dos Mosaicos

Conforme Vidal e Stellin Junior (1995), as rochas ornamentais e de revestimento (rochas carbonáticas, mármore, silicáticas e granitos) tiveram suas primeiras aplicações no período paleolítico, aproximadamente 500 mil a.C., conhecido também como período da Idade da Pedra ou Idade da Pedra Lascada. Desde este período as rochas vêm sendo usadas ao longo do tempo em diferentes culturas, sendo que atualmente podem ser observadas em características arquitetônicas e urbanísticas nas cidades.

A arte do mosaico é praticada há mais de 4.000 anos. Desde o século VIII a.C. existem registros de pavimentos feitos de seixos de pedras coloridas na Roma antiga a fim de criar desenhos específicos, ainda que esses desenhos contivessem pouca estrutura. Foram os gregos, no século IV a.C., que fizeram do mosaico de seixos uma forma de arte, com desenhos geometricamente precisos e painéis com cenas contendo pessoas e animais. Já no ano 200 a.C., pequenas peças começaram a ser produzidas, com a finalidade de dar mais variação de cores aos desenhos, imitando então pinturas (MASTERPEICE MOSAICOS, 2013).

A técnica do mosaico, em sua origem, muito difundida na época romana e bizantina, constituía-se por cubos de mármore coloridos – *tesse/as* – compostos em motivos decorativos ou cenas com pessoas e paisagens, com desenhos estilizados (UPJOHN, WINGERT, MAHLER, 1979).

Com o surgimento no século V do império Bizantino, centrado na cidade de Byzantium (hoje Istambul, Turquia), novos estilos influenciaram a arte do mosaico, como exemplo tem-se as peças coloridas em vidro pouco espessos, chamadas de *smalti*, produzidas no norte da Itália. Enquanto os mosaicos Bizantinos se especializaram em revestir paredes e tetos, os mosaicos Romanos eram usados para revestimentos de chão. As peças de *smalti* não eram rejuntadas para permitir que a luz refletisse no vidro. Os mosaicos Bizantinos se inspiraram na sua grande

maioria em imagens cristãs, ainda que outros muitos trabalhos incorporavam imagens decorativas ou de personagens importantes da época (MASTERPEICE MOSAICOS, 2013).

A arte dos mosaicos Islâmicos chegou à península Ibérica por volta do século VIII. Os motivos Islâmicos eram geralmente geométricos ou matemáticos. Nos países árabes, esse estilo decorativo usa-se a cerâmica e os mosaicos eram trabalhados manualmente para formar desenhos para revestir superfícies (MASTERPEICE MOSAICOS, 2013).

A definição dada por Dacol (2008) é que mosaico consiste em uma técnica artística executada com pequenas peças de pedra ou de outros materiais, formando determinado desenho. O objetivo do mosaico é preencher algum tipo de plano, como pisos e paredes. A palavra mosaico deriva da palavra grega *mouseîn*, a mesma que deu origem à palavra música, que significa próprio das musas.

2.1.2 Setor mundial e brasileiro de produção de rochas ornamentais

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 2012), a produção mundial de rochas ornamentais atingiu em 2011, estimadamente, 116 Mt, com a China respondendo por cerca de 37% desta produção. As exportações mundiais foram estimadas em 49,6 Mt, contanto com rochas brutas e beneficiadas.

Segundo dados do Anuário Mineral Brasileiro (DNPM, 2010), as reservas recuperáveis (30% das reservas medidas) são da ordem de 6 bilhões de m³ de rochas ornamentais no Brasil. Não existem estatísticas consolidadas sobre as reservas mundiais. Conforme dados estimados pela Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABRIROCHAS, 2012), que considera índices do desempenho das exportações e do consumo interno, o Brasil se colocaria em 5º lugar no *ranking* mundial tanto em produção como nas exportações, que atingiram 2,9 Mt, totalizando US\$ 999,6 milhões.

A produção brasileira, estimada pela ABRIROCHAS (2012), foi de 9,0 Mt em 2011, com um aumento de 1,1% em relação ao ano de 2010, sendo determinada pela manutenção do crescimento do mercado interno na ordem de 3,2%. Ainda segundo a Associação, a participação dos granitos e similares correspondeu

praticamente a 50% da produção nacional, seguidos dos mármore e travertinos (17,8%), da ardósia (6,7%) e dos quartzitos folheados (6,7%). A redução das exportações de ardósias impactou na produção nacional, com perda de participação de 1,3% no total produzido. A Região Sudeste deteve 64,5% da produção nacional e a Nordeste 24,5%. As regiões Sul, Centro-Oeste e Norte atingiram em conjunto 11%.

O DNPM (2012) estima que cerca de 90% da produção nacional se concentra nos estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Ceará, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás e Pernambuco, e apesar de Minas Gerais produzir um percentual menor de granitos, destaca-se pela produção de ardósias, quartzitos folheados e pedra-sabão (esteatito). Segundo a ABRIROCHAS (2011), estima-se que a cadeia produtiva de rochas no Brasil tenha cerca de 7.000 marmorarias, 2.200 empresas de beneficiamento, 1.600 teares, 1.000 empresas dedicadas à lavra – com cerca de 1.800 frentes ativas e legalizadas, em cerca de 400 municípios e com cerca de 135.000 empregos diretos. As transações comerciais estão estimadas em valores da ordem de 4,4 bilhões de dólares.

No Brasil, o consumo aparente de rochas em 2011, segundo dados do DNPM (2012), foi estimado em 6,2 Mt, impulsionado novamente pela manutenção do crescimento da construção civil e de obras de infraestrutura, atendendo também eventos como a Copa de 2014. Estimativas da Abirochas (2012), a produção de chapas serradas atingiu 68,1 milhões de m² em 2011 (43,7 milhões de m² para granitos, 19,6 milhões de m² para mármore e travertinos e 4,6 milhões de m² para ardósias, quartzitos folheados e outros tipos de rochas). É importante ressaltar que novas regiões no interior do país também passaram a produzir e beneficiar rochas, com menor custo de frete, estimulando o crescimento do mercado interno (DNPM 2012).

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC, 2011) as importações totais de rochas ornamentais reduziram-se 18,5% em peso, com 105,8 Mt e US\$ 67,9 milhões, os mármore beneficiados atingiram US\$ 49,5 milhões e 72 Mt e os mármore brutos atingiram valores na ordem de US\$ 13,1 milhões. Ainda segundo o MDIC (2011), os mármore importados já representam o equivalente a 3% do consumo interno de rochas ornamentais no Brasil.

As exportações brasileiras totais somaram 2,19 Mt , correspondendo a US\$ 999,6 milhões (+4,22% no valor, em relação a 2010, ficando como 7º maior exportador mundial), conforme o MDCI (2011), sendo que o maior mercado consumidor são os Estados Unidos da América, consumindo em valores monetários cerca de US\$ 507 milhões. As rochas processadas para exportação atingiram US\$ 745,6 milhões e 0,99 Mt, com uma elevação de 1,54% em valor e redução de 4,94% em peso (MDCI, 2011).

2.2 ARRANJO FÍSICO

O arranjo físico é uma das características mais evidentes e significantes inseridas em uma organização, que pode influir positiva ou negativamente na maneira como os recursos serão transformados.

Slack, Chambers e Johnston (2009) definem arranjo físico como o modo pelos quais os recursos transformadores são posicionados em relação aos outros e como as várias tarefas da operação estão alocadas nestes recursos transformadores.

Os autores ainda especificam algumas características de um bom arranjo físico, tais como:

- a) segurança inerente;
- b) extensão de fluxo;
- c) clareza de fluxo;
- d) conforto para os funcionários;
- e) coordenação gerencial;
- f) acessibilidade;
- g) uso do espaço; e
- h) flexibilidade de longo prazo.

O desenvolvimento de técnicas, métodos e ferramentas eficazes para a adequação da produção às necessidades atuais do mercado, seja por causa do aumento da produção ou pela variabilidade da demanda, tem levado às empresas

dispõem de um sistema flexível e uma reorganização constante de seu arranjo físico na produção de bens e serviços (VILLAR e PORTO, 2007).

Existem quatro tipos de arranjos físicos, sendo eles o posicional, por processo, celular e por produto, além do arranjo físico misto, que pode englobar um ou mais tipos de arranjo em um determinado processo, descritos a seguir:

I – Arranjo Físico Posicional:

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002), no arranjo posicional os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores, ou seja, quem sofre o processamento fica estacionário enquanto pessoas e equipamentos se movem a cada etapa.

Tompkins, White e Bozer (1996) citaram como principais vantagens desse sistema:

- a) simplicidade, lógica e um fluxo direto como resultado;
- b) pouco trabalho em processo e redução do inventário em processo;
- c) o tempo total de produção por unidade é baixo;
- d) a movimentação de material é reduzida;
- e) não exige muitas habilidades dos trabalhadores;
- f) resulta num controle de simples produção.

Ainda segundo Tompkins, White e Bozer (1996) as principais limitações encontradas são:

- a) parada das máquinas resulta na interrupção da linha;
- b) mudanças no ciclo do produto tornam o produto obsoleto;
- c) estações de trabalho mais lentas que limitam o trabalho da linha de produção;
- d) necessidade de uma supervisão geral;
- e) resulta geralmente em altos investimentos em equipamentos;
- f) equipamentos para fins específicos precisam ser utilizados.

A Figura 1 demonstra um arranjo físico posicional típico proposto por Slack, Chambers e Johnston (2009). Este arranjo traz como exemplo uma sala de cirurgia, onde os pacientes permanecem parados enquanto os recursos, no caso a equipe

médica, aparelhos, entre outros se movem. Neste tipo de arranjo, têm-se todas as atividades programadas, no caso do exemplo especificado na figura, para as cirurgias que serão realizadas em determinado dia, nos procedimentos os pacientes estarão imóveis e a equipe e equipamentos serão levados até o local adequado.

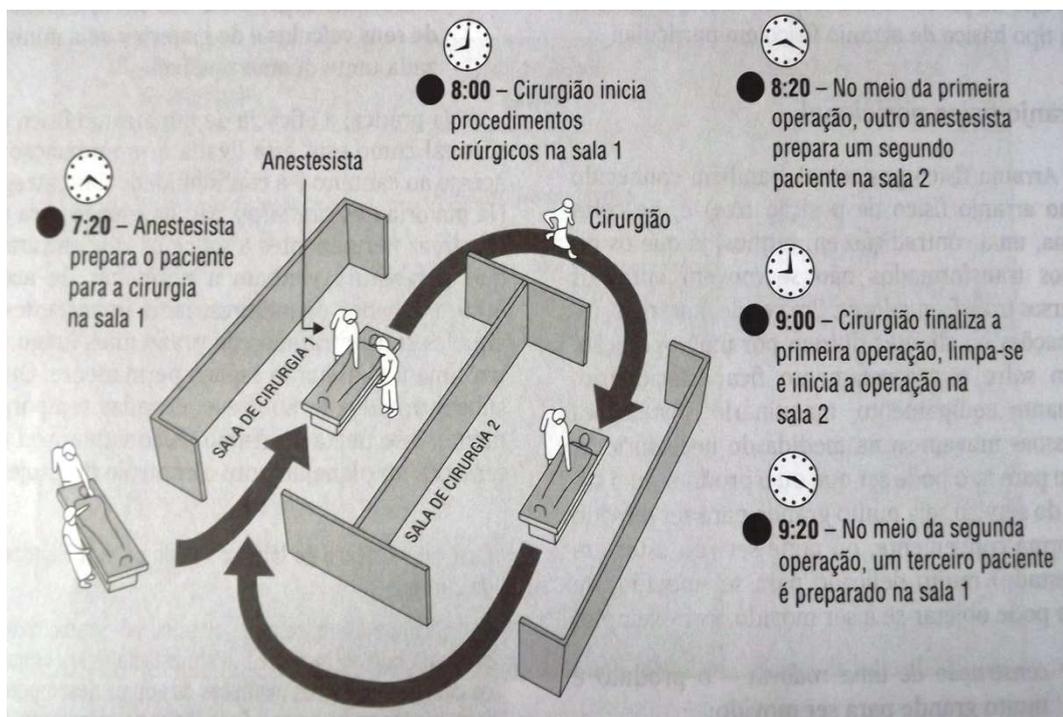


Figura 1 – Arranjo posicional – Linha de montagem de um centro cirúrgico
Fonte: Slack, Chambers e Johnston (2009)

II – Arranjo Físico por Processo:

Para Slack, Chambers e Johnston (2002) as necessidades e conveniências dos recursos transformadores que constituem o processo dominam a decisão sobre o arranjo e onde os processos similares são agrupados.

Nesse tipo de arranjo físico todos os processos e equipamentos do mesmo tipo são alocados numa mesma área e também operações e montagem semelhante são agrupadas no mesmo local (MOREIRA, 2001).

As principais vantagens desse sistema, segundo Peinado e Graeml (2004), são:

- a) grande flexibilidade para atender as mudanças do mercado;
- b) bom nível de motivação;

- c) atende a produtos diversificados em quantidades variadas ao mesmo tempo;
- d) menor investimento para instalação do parque industrial.

Segundo Peinado e Graeml (2004), as principais desvantagens são:

- a) apresenta um fluxo longo dentro da fábrica;
- b) diluição de menos custo fixo em função de menor expectativa de produção;
- c) dificuldade de balanceamento;
- d) exige mão de obra qualificada e maior necessidade de preparo e *setup* de máquinas.

A Figura 2 mostra um exemplo de arranjo físico por processo proposto por Peinado e Graeml (2004), com cinco agrupamentos de máquinas similares que fazem a mesma operação entre elas, porém fabricam diferentes produtos dentro de cada processo, em que após um processo ser finalizado, o produto segue a próxima etapa para a realização de mais uma parte do processo, que após a finalização segue para o próximo processo até que o produto final esteja pronto.

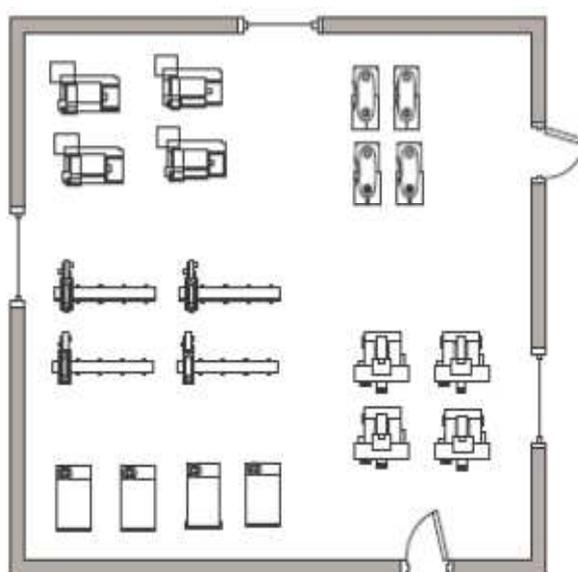


Figura 2 – Arranjo por processo
Fonte: Peinado e Graeml (2004)

III – Arranjo Físico Celular:

Para Peinado e Graeml (2004), o arranjo procura unir as vantagens do arranjo físico por processo, com as vantagens do arranjo físico por produto. A célula de manufatura consiste em arranjar somente, em um local, máquinas diferentes que possam fabricar o produto inteiro. O material se desloca dentro da célula buscando os processos necessários, porém o deslocamento ocorre em linha.

Slack, Chambers e Johnston (2002) definiram como sendo os recursos transformados, após entrarem na produção são pré-selecionados para movimentar-se para uma parte específica da operação, em que os recursos transformadores necessários estão alocados. A célula pode encontrar-se dentro de um arranjo físico por processo ou produto.

Para Peinado e Graeml (2004), as vantagens deste arranjo são:

- a) aumento da flexibilidade quanto ao tamanho de lotes por produto;
- b) diminuição do transporte de material;
- c) diminuição dos estoques;
- d) maior satisfação de trabalho.

As principais desvantagens encontradas neste tipo de arranjo físico por Peinado e Graeml (2004) são:

- a) muito específico para uma família de produtos;
- b) dificuldade de se elaborar o arranjo.

A Figura 3 demonstra as máquinas que antes estavam agrupadas em função do tipo de processo, Figura 2, e que agora estão distribuídas em células encarregadas de produzir, do início ao fim, uma família de produtos, sem que o produto necessite trocar de célula para ser finalizado, diminuindo o tempo e a distância de transporte do produto pela indústria.

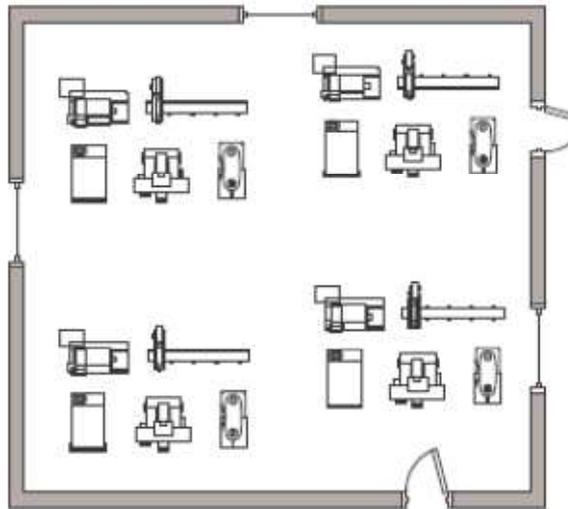


Figura 3: Arranjo físico celular
Fonte: Peinado e Graeml (2004)

IV – Arranjo Físico por Produto ou em Linha:

A definição dada por Slack, Chambers e Johnston (2002) é que o arranjo por produto ou linha envolve a localização dos recursos transformadores segundo a melhor conveniência do recurso que é transformado. Cada produto segue um roteiro pré-definido de atividades que coincide com a sequência na qual os processos foram arranjados fisicamente.

O fluxo de produtos, informações ou clientes é muito claro e previsível neste tipo de arranjo, fazendo-o de fácil controle. Geralmente a uniformidade dos requisitos de produtos ou serviços determina a escolha deste arranjo (SLACK; CHAMBERS. JOHNSTON, 2009).

Como principais vantagens desse sistema, segundo Tompkins, White e Bozer (1996), têm-se:

- a) simplicidade, lógica e um fluxo direto como resultado;
- b) pouco trabalho em processo e redução do inventário em processo;
- c) o tempo total de produção por unidade é baixo;
- d) a movimentação de material é reduzida;
- e) não exige muitas habilidades dos trabalhadores;
- f) resulta num controle de simples produção.

Segundo Tompkins, White e Bozer (1996) as principais limitações são:

- a) parada das máquinas resulta na interrupção da linha;
- b) mudanças no ciclo do produto tornam o produto obsoleto;
- c) estações de trabalho mais lentas que limitam o trabalho da linha de produção;
- d) necessidade de uma supervisão geral;
- e) resulta geralmente em altos investimentos em equipamentos;
- f) equipamentos para fins específicos precisam ser utilizados.

Na Figura 4, a linha em forma de U requer praticamente a metade do comprimento de uma linha de forma reta. As pessoas trabalham mais próximas umas das outras e o caminho percorrido para abastecimento da matéria-prima ao lado da linha é menor. Porém, cada linha tem sua peculiaridade, por esta razão encontram-se diferentes linhas para diferentes produtos, sendo que as linhas mais comuns de serem encontradas nas indústrias são as linhas de produção na forma reta.

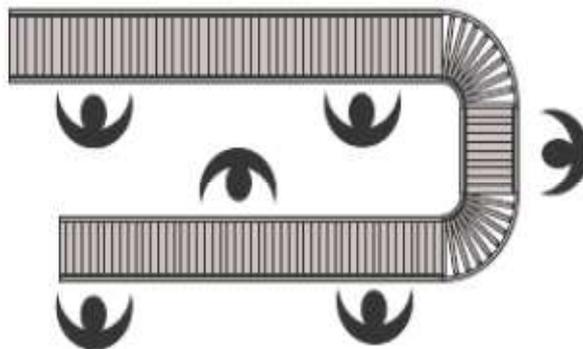


Figura 4: Arranjo físico em linha (em forma de U)
Fonte: Peinado e Graeml (2004)

V – Arranjos Mistos

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), os arranjos físicos mistos combinam elementos de alguns ou de todos os tipos básicos de arranjo físico, ou os usam livres de combinações em determinada etapa do processo, mas no processo como um todo existem diferentes arranjos envolvidos.

O arranjo físico misto é utilizado quando se deseja aproveitar as vantagens dos diversos tipos de arranjo físico conjuntamente. Geralmente é utilizada uma combinação dos arranjos por produto, por processo e celular (PEINADO; GRAEML, 2004).

Na Figura 5 existem três tipos de restaurante no complexo (restaurante, lanchonete e *buffet*) que são servidos pela mesma cozinha. Na cozinha tem-se um arranjo físico por processo, com todos os processos agrupados. No restaurante tem-se um arranjo físico posicional, os clientes permanecem sentados enquanto a comida é trazida até eles na mesa. O restaurante tipo *buffet* tem um arranjo físico do tipo celular, pois nele encontram-se três células, o *buffet* das entradas, dos pratos principais e das sobremesas, onde os clientes vão até as células para se servirem. A lanchonete, que pode ser caracterizada como restaurante tipo bandeirão ou restaurantes por quilo tem o arranjo físico em linha, pois os clientes vão até a linha de serviço e se servem, passando assim por um roteiro determinado pela colocação da linha.

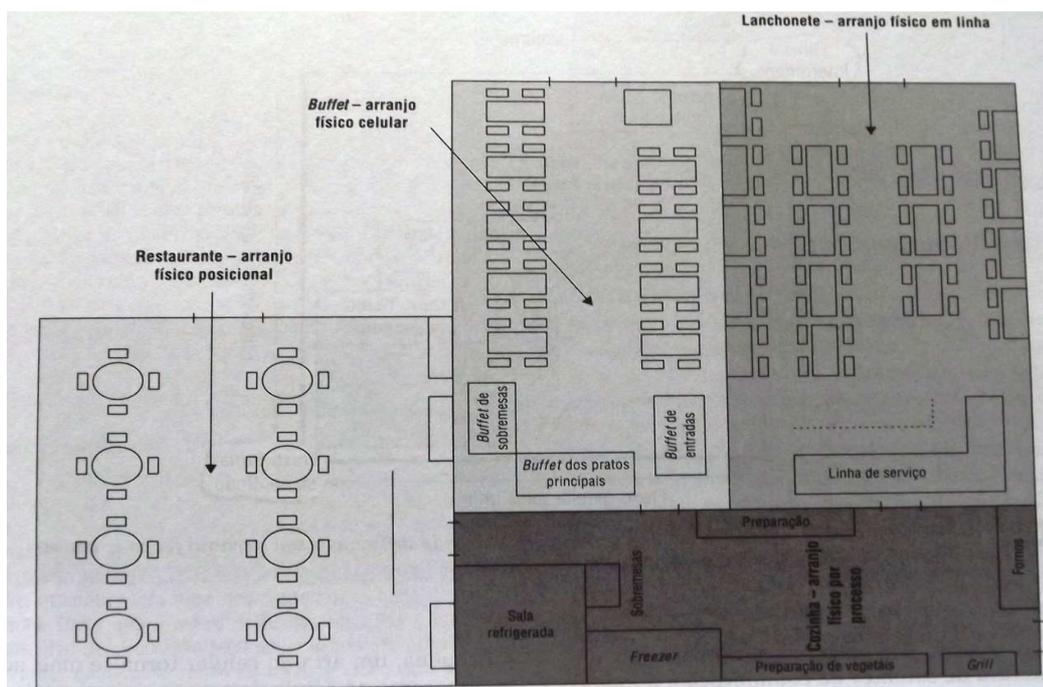


Figura 5: Arranjo misto – Complexo de restaurantes
Fonte: Fonte: Slack, Chambers e Johnston (2009)

2.3 PRINCÍPIOS DO LAYOUT

Existem alguns princípios pelos quais o estudo e aprimoramento do layout ou arranjo físico, em uma indústria são imprescindíveis. Autores como Peinado e Graeml (2004) destacam os principais motivos:

- a) segurança: todos os processos que podem representar perigo para funcionários ou clientes não devem ser acessíveis a pessoas não autorizadas;
- b) saídas de incêndio devem ser claramente sinalizadas e estarem sempre desimpedidas;
- c) economia de movimentos: deve-se procurar minimizar as distâncias percorridas pelos recursos transformados, por esta razão a extensão do fluxo deve ser a menor possível;
- d) flexibilidade de longo prazo: deve ser possível mudar o arranjo físico, sempre que as necessidades da operação também mudarem;
- e) princípio da progressividade: o arranjo físico deve ter um sentido definido a ser percorrido, devendo-se evitar retornos ou caminhos aleatórios;
- f) uso do espaço: deve-se fazer uso adequado do espaço disponível para a operação levando-se em conta a possibilidade de ocupação vertical, também, da área da operação.

Trein e Amaral (2001) ressaltam que o layout tem uma importância extremamente relevante em relação à produção, de forma que o seu dimensionamento pode gerar perdas por excesso de operações, deslocamentos desnecessários, além de ineficiência produtiva. Ao contrário com análises e dimensionamentos corretos, ele pode aumentar a flexibilidade e a produtividade da produção.

2.4 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (PO) surgiu durante a segunda guerra mundial, decorrente da necessidade de lidar com problemas de natureza logística, tática e de

estratégia militar de grande dimensão e complexidade. De forma a apoiar os comandos operacionais na resolução desses problemas, foram então criados grupos multidisciplinares de matemáticos, físicos e engenheiros e cientistas sociais. Esses cientistas não fizeram mais do que aplicar o método científico, que tão bem conheciam, aos problemas que lhes foram sendo colocados. A partir deste ponto desenvolveram a ideia de criar modelos matemáticos, apoiados em dados e fatos, que lhes permitissem perceber os problemas em estudo e simular e avaliar o resultado hipotético de estratégias ou decisões alternativas, segundo a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO, 2013).

O grande progresso em relação à melhoria e aperfeiçoamento das técnicas da PO no período pós-guerra foi fundamental para sua expansão neste período. Inúmeros cientistas se interessaram pela Pesquisa Operacional e realizaram estudos relevantes sobre o assunto. Várias ferramentas aplicadas à PO, como a programação linear, programação dinâmica e a teoria das filas e teoria do inventário, atingiram um patamar de desenvolvimento alto antes do fim da década de 1950 (HILLIER; LIEBERMAN, 2010).

Segundo a SOBRAPO (2013), o sucesso e credibilidade foram inúmeros e culminaram em uma nova metodologia de abordagem dos problemas se transferiram para as empresas que se viram também confrontadas com problemas de decisão de grande complexidade. Em alguns países, em que prevaleceu a preocupação com os fundamentos teóricos, a Pesquisa Operacional se desenvolveu sob o nome de Ciência da Gestão ou Ciência da Decisão e em outros, em que predominou a ênfase nas aplicações, com o nome de Engenharia Industrial ou Engenharia de Produção.

A SOBAPRO afirma ainda que houve grandes desenvolvimentos técnicos e metodológicos que hoje, com o apoio de meios computacionais de crescente capacidade e disseminação, permitem trabalhar enormes volumes de dados sobre as atividades, não apenas das empresas, mas, também de instituições do setor público dentro e fora da área econômica. Face ao seu caráter multidisciplinar, a PO é uma disciplina científica de características horizontais com suas contribuições estendendo-se por praticamente todos os domínios da atividade humana, da Engenharia à Medicina, passando pela Economia e a Gestão Empresarial, como também deu início ao estudo e aplicação da simulação.

A Pesquisa Operacional é considerada como uma ciência aplicada cujo objetivo é a melhoria de desempenho em organizações e trabalha através da

formulação de modelos matemáticos a serem resolvidos com o auxílio de computadores. Um estudo típico de PO agrega em sua teoria quatro ciências fundamentais para o processo de análise e preparação de uma decisão: a economia, a matemática, a estatística e a informática (DÁVOLOS, 2002).

Oliveira (2008) afirma que a PO é uma área multidisciplinar relacionada à Engenharia de Produção que congrega técnicas encontradas na programação matemática, ciências de gerenciamento, teoria de jogos, simulação discreta e até sistemas inteligentes.

Arenales *et al* (2007) alegam que a PO está se tornando um importante elemento nas metodologias de tecnologia da informação, bem como um componente científico relacionado a ideias e processos para articular e modelar processos de decisão.

Devido à importância da Pesquisa Operacional, Costa (1973) destacou que a partir de 1973, a disciplina já está incluída nos currículos de Engenharia, Economia, Administração, Química Agronomia, Atuária e Estatística.

2.5 SIMULAÇÃO

Banks (1998) define simulação como a imitação de uma operação em um processo ou sistema do mundo real durante certo intervalo de tempo. A simulação é definida como uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital (PRADO, 2010).

Segundo Lemos (1999) o termo simulação tem sido usado para se referir à representação de grandes e complexas atividades. As simulações utilizam um modelo para representar o comportamento de um sistema que pode ou não existir, podendo ser um simulador físico ou virtual. O objetivo é que a simulação seja uma realização alternativa que se aproxima do sistema real e que permita a análise e comportamento do sistema quando submetido a várias decisões alternativas.

Segundo Banks (1998), simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento de um sistema usando um computador digital. A simulação de um modelo permite entender a

dinâmica de um sistema assim como analisar e prever o efeito de mudanças que se introduzam no mesmo. É uma representação próxima da realidade, e será tanto mais real quanto mais características significativas do sistema seja capaz de representar. Por outro lado, o modelo deve ser simples, de forma que não se torne demasiado complexo para se construir, mas ao mesmo tempo o modelo deve ser o mais fiel possível ao sistema real (CHIWF e MEDINA, 2007).

A simulação permite a realização de estudos sobre os sistemas modelados a fim de sanar questionamentos sem que os sistemas que se encontram em investigação sofram qualquer perturbação, pois os estudos são realizados no computador (FREITAS FILHO, 2008).

O autor afirma ainda que as razões mais comuns para que tal método seja utilizado são:

- a) o sistema real ainda não existe: usada quando se necessita um planejamento futuro;
- b) experimentar como o sistema real é dispendioso: o modelo pode apontar os benefícios sobre novos equipamentos;
- c) experimentar como o sistema real não é apropriado: testar modelos para soluções emergenciais.

Algumas das vantagens do emprego deste método são descritas por Pegden et al (1990) e Banks e Carson (1984), e que Freitas Filho (2008) realçou, sendo elas:

- a) após a criação do modelo, este pode ser usado inúmeras vezes para a avaliação;
- b) a simulação, geralmente, é de mais fácil aplicação quando comparada a métodos analíticos;
- c) as informações geradas em modelos de simulação permitem a análise de diversas medidas concebíveis;
- d) os modelos podem ser tão detalhados quanto a modelos reais podendo ser avaliados sem que se cause alguma perturbação nos sistemas reais;
- e) podem-se compreender melhor as variáveis decisivas no sistema e como ocorre a relação das mesmas com o sistema e entre si;
- f) por conta de o modelo ser visível, os gargalos podem ser identificados mais facilmente;

g) situações inesperadas e novas podem ser testadas, para que medidas e preparações possam ser utilizadas mediante a necessidade.

As principais dificuldades relatadas por Pegden (1990) e Banks e Carson (1984), e que Freitas Filho (2008) realçou são:

a) a construção do modelo requer mão de obra especializada, e mesmo que criada paralelamente por dois indivíduos com as mesmas competências pode diferir em muitos aspectos;

b) os resultados são geralmente de difícil interpretação, pois são comuns as dificuldades em determinar quando uma observação realizada durante a execução se deve a uma relação ligada diretamente ao sistema, ou a processos aleatórios construídos e embutidos no sistema;

c) a modelagem e a experimentação aliadas a modelos de simulação consomem principalmente tempo. Tentativas de simplificação na modelagem com intuito de economizar dinheiro pode levar a resultados insatisfatórios. Em alguns casos, métodos analíticos, como a Teoria das Filas, podem trazer resultados menos satisfatórios, porém mais viáveis.

2.6 SOFTWARE ARENA®

Existem inúmeros *softwares* que realizam a simulação por meio de um computador, porém cada um tem suas particularidades, como Prado (2010) descreve que a maior consequência destas divergências é a maneira como os dados são fornecidos, bem como os relatórios gerados posteriormente.

Ainda segundo o autor o *software* Arena® foi lançado pela empresa americana *Systems Modeling* em 1993, e foi o sucessor de outros programas como o SIMAN desenvolvido em 1982, o primeiro simulador para computadores com foco em arquitetura, e o CINEMA que foi concebido em 1984, que era o complemento do simulador anterior, onde a partir desta criação as animações gráficas se tornaram possíveis. O conjunto sofreu melhoramentos, e em 1993 os programas foram unificados e aperfeiçoados em um único *software*, o Arena®. Após 1998 a empresa *Rockwell Software* incorporou junto ao mesmo a *Systems Modeling*.

O *software* Arena® pode ser aplicado a diferentes tipos de ambientes com diferentes formas de raciocínio

De acordo com PARAGON (2013) os principais elementos para a construção de modelos no Arena® estão reunidos no *Template Basic Process*, e são descritos a seguir:

- a) *Create*: este módulo de fluxograma serve para introduzir as entidades no modelo segundo intervalos de tempo definidos;
- b) *Dispose*: este módulo de fluxograma tem função inversa à do módulo *Create*. Ele tem a função de retirar as entidades do sistema;
- c) *Process*: tem a função de representar qualquer ação dentro do sistema que leve um tempo para ser cumprida. Também é capaz de representar a ocupação de uma máquina ou operador (recurso);
- d) *Decide*: representa uma ramificação no fluxo do processo. Ele serve para alterar o rumo das entidades baseado em uma condição do sistema ou de um percentual probabilístico;
- e) *Entity*: reúne as definições e parâmetros referentes a todos os tipos de entidades usados pelo modelo;
- f) *Resource*: relaciona todos os recursos usados no modelo. Por recurso, entende-se uma estrutura que será usada pela entidade, a qual irá despender certa quantidade de tempo neste processo.

Um dos recursos mais valiosos do Arena® é a animação. Através dessa ferramenta, é possível representar dinamicamente o sistema em estudo, analisando o comportamento das variáveis e suas movimentações. A animação também auxilia no entendimento do modelo elaborado por pessoas que não tenham afinidade com a área de simulação, pois consiste em desenhos e símbolos de fácil compreensão.

A Figura 6 mostra a área de trabalho inicial do *software* Arena, na qual se encontram os elementos citados acima, área *Template* (1), bem como a área de trabalho (2) e a área da planilha (3), sendo que:

1. área *template*: contém os vários tipos de *templates*, cada qual possuindo um determinado objetivo como os processos básicos, avançados, transporte, entre outros;

2. área de trabalho: é o local onde os módulos do fluxograma são alocados, bem como as respectivas funções obtidas através dos tempos encontrados;

3. área da planilha: consiste no local onde os dados dos módulos de dados são alocados.

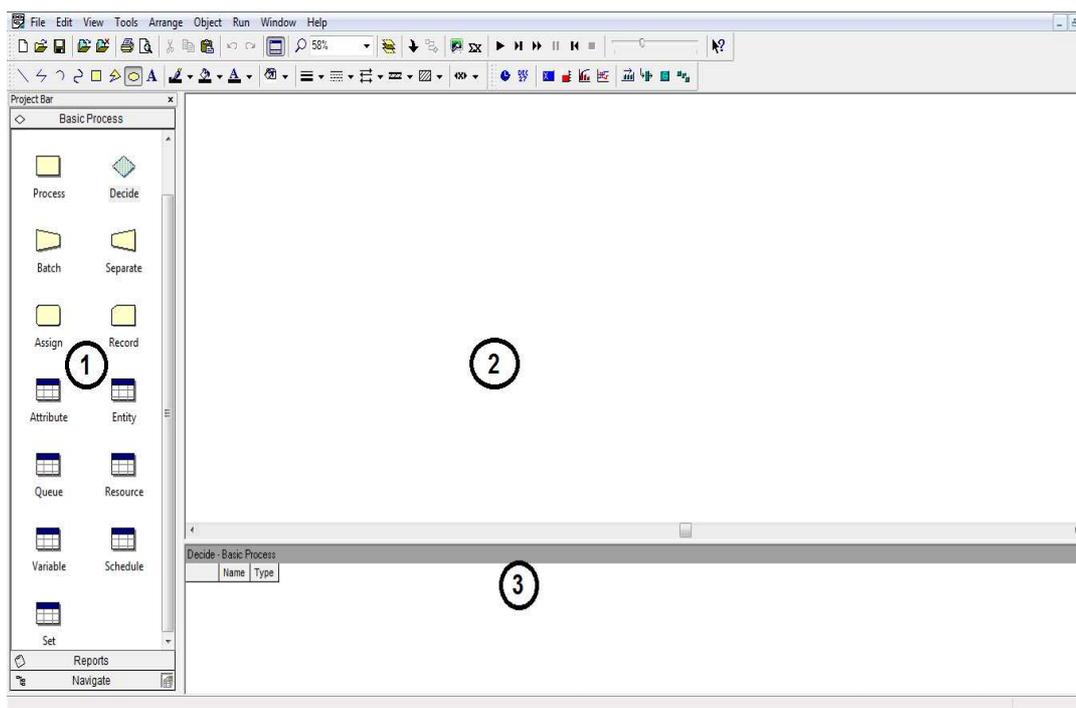


Figura 6 – Área de trabalho inicial do Arena®

Fonte: Software Arena®

Os Relatórios (*Reports*) gerados pelo Arena® são expostos em outra tela, onde pode ser encontrado os resultados da aplicação do modelo, bem como o detalhamento de diversos dados, e é através desta tela que as soluções podem ser encontradas. A Figura 7 mostra a tela de *Reports* de um exemplo do próprio software, em que:

1. relação de relatórios disponíveis: dentro desta categoria podem ser encontrados os diferentes relatórios gerados pelo programa. São 13 tipos de relatórios fornecidos pelo Arena®: *Activity Área* (Área para Atividade), *Category Overview* (Visão Global da Categoria), *Category by Reaplication* (Visão Global da categoria por Reaplicação), *Entities* (Entidades), *Frequencies* (Frequências), *Processes* (Processos), *Queues* (Filas), *Resources* (Recursos), *Transfers*

(Transportadores), *User Specified* (Especificações do Usuário), *Agents and Trunks* (Agentes), *Contact Times and Counts* (Chamadas e Contadores) e *Tanks* (Tanques);

2. relação das variáveis do modelo: pode-se escolher dentro de cada tipo de relatório separadamente os dados para serem analisados;

3. visualização do relatório selecionado: pode-se visualizar detalhadamente cada relatório selecionado, é onde se encontram os cálculos estatísticos para as variáveis do modelo que foram selecionadas para constar nas estatísticas.

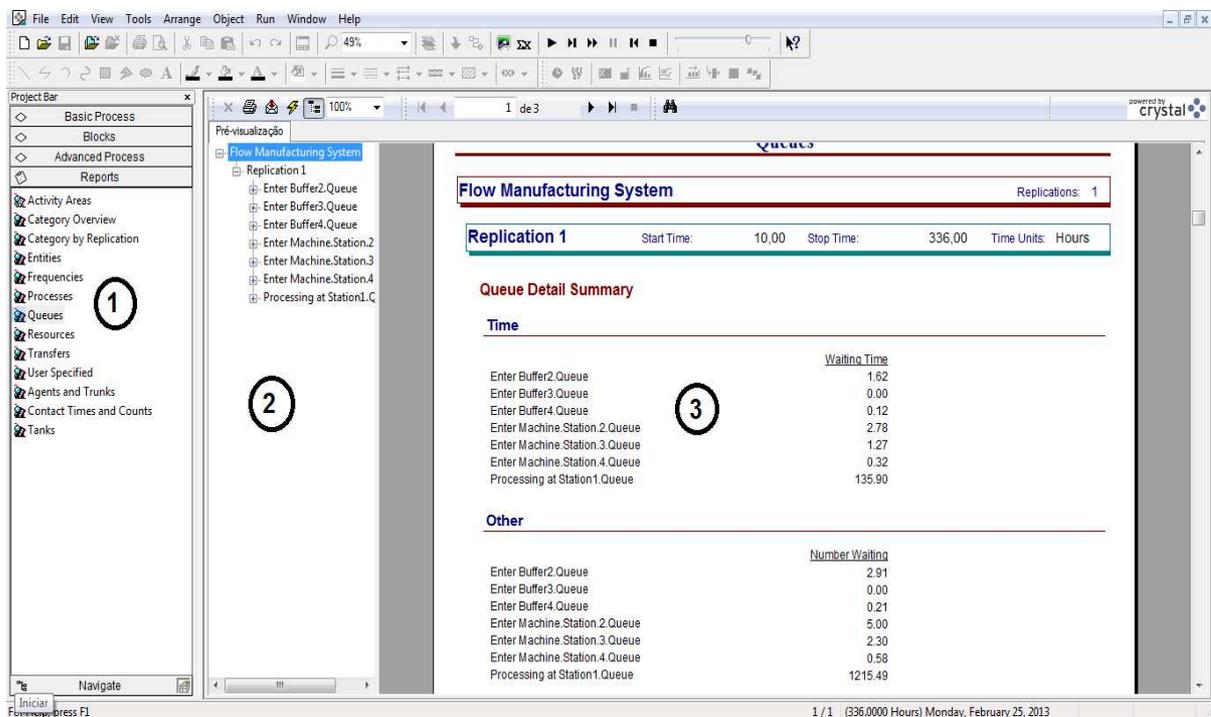


Figura 7 – Reports
Fonte: Software Arena®

O Arena® é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém inúmeros recursos para modelagem, animação, análise estatística e análise de resultados. A plataforma de simulação Arena® possui as seguintes ferramentas (FREITAS FILHO, 2008):

- a) analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*);
- b) analisador de resultados (*Output Analyzer*);
- c) analisador de processos (*Process Analyzer*).

2.6.1 *Input Analyzer*.

O analisador dos dados de entrada, *Input Analyzer*, permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. Esta ferramenta é independente do programa de modelagem.

Segundo Freitas Filho (2008) o *Input Analyzer* tem como propósito a identificação da distribuição teórica de probabilidades por meio de testes de aderência, nos quais é necessária a amostra de dados do sistema real coletados para posterior tratamento pelo programa.

Após a inserção dos dados no *Input Analyzer* é obtida a expressão (função de probabilidade) que melhor descreve os tempos e que deve ser empregada no modelo de simulação.

Segundo Prado (2010) esta ferramenta permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher, por meio de testes de aderência, a melhor distribuição estatística que se aplica a eles.

A Figura 8 apresenta, como exemplo, a curva de uma distribuição Normal obtida através da utilização da ferramenta *Input Analyser*.

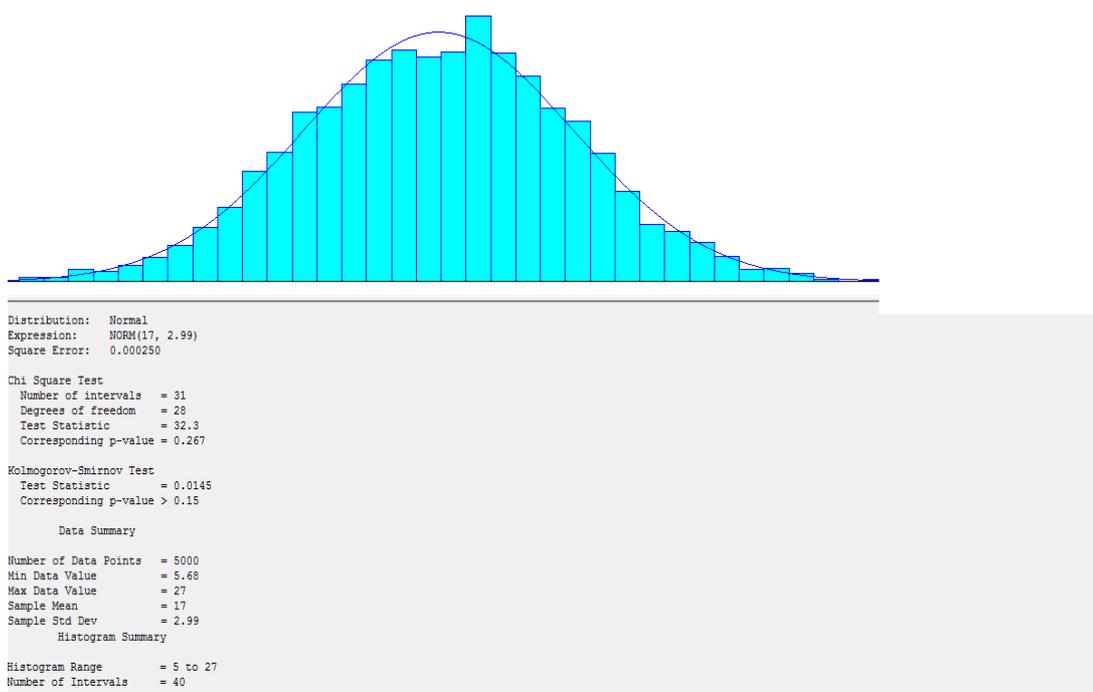


Figura 8 – *Input Analyzer*
Fonte: Software *Input Analyzer*

2.6.2 Output Analyzer:

O *Output Analyzer* é um aplicativo, do software Arena®, utilizado na análise das saídas de um modelo de simulação. Neste aplicativo podem ser criados diversos tipos de gráficos (gráficos de linhas e de barras, histogramas, etc). Na Figura 9 apresenta-se, como exemplo, o intervalo de confiança, obtido no *Output Analyzer*, para a variável *Flowtime*.

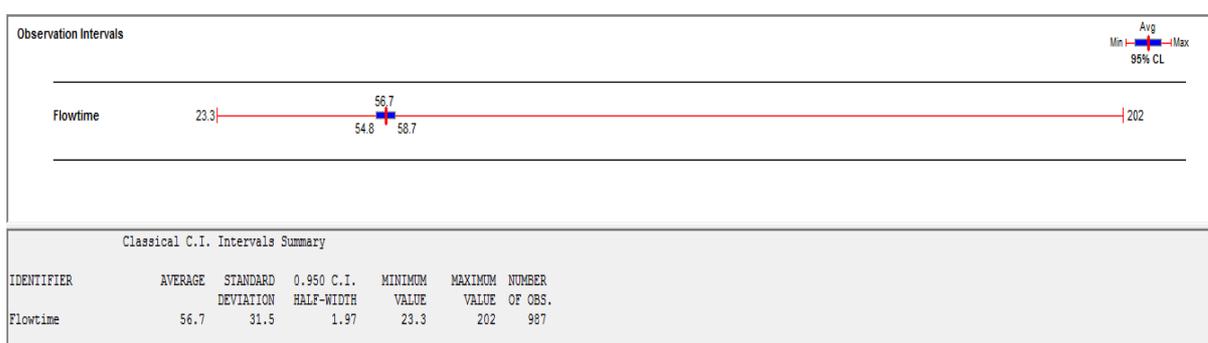


Figura 9 – Output Analyzer – Intervalo de confiança
Fonte: Software Output Analyzer

2.6.3 Process Analyzer

O Process Analyzer ajuda na avaliação de alternativas apresentadas na execução da simulação de diferentes cenários para o modelo do sistema estudado. Ele é bastante útil para desenvolvedores de modelos de simulação, assim como para tomadores de decisões dentro das empresas (que frequentemente não estão muito familiarizados com a modelagem, mas sim com a solução que a simulação está oferecendo).

O papel desta ferramenta é a de permitir a comparação entre resultados retirados do modelo a partir de diferentes dados de entrada. Esta ferramenta também permite a apresentação dos resultados através de gráficos (Figura 10).

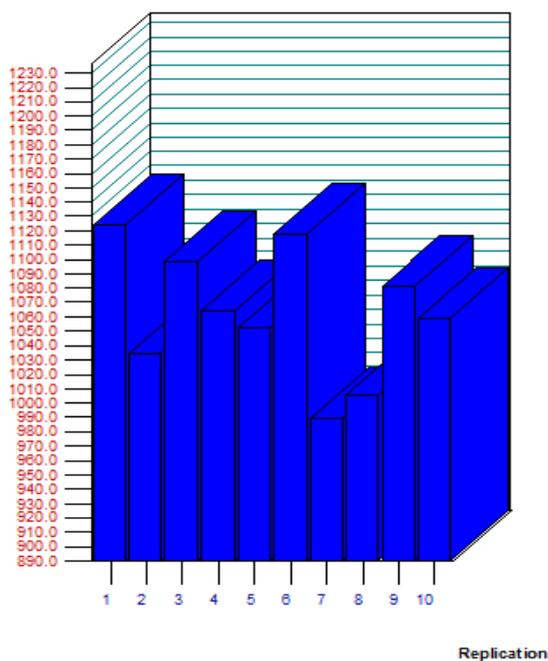


Figura 10 – Process Analyzer – Gráfico de colunas
Fonte: Software Process Analyzer

Pode-se definir o Arena® como um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. A tecnologia diferencial do *software* é a coleção de objetos e ferramentas de modelagem, os *templates*, que permitem ao usuário, descrever o comportamento do processo em análise de maneira visual e interativa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 TIPO DE PESQUISA

Segundo Gil (2002) a pesquisa pode ser classificada de acordo com os seus objetivos, podendo ser uma pesquisa exploratória, descritiva ou explicativa. A pesquisa exploratória visa proporcionar maior intimidade com o problema a fim de torná-lo mais explícito ou possibilitar a construção de hipóteses. A pesquisa descritiva, por sua vez, tem como objetivo descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou então estabelecer relações entre variáveis, algumas vezes determinando a natureza dessa relação. Já a pesquisa explicativa identifica os fatores que contribuem para que dado fenômeno aconteça, sendo o tipo de pesquisa mais complexo e delicado, pois o risco de cometer erros é elevado.

A pesquisa que mais se enquadrou com o objetivo deste trabalho foi a exploratória.

Como este trabalho tem como base a modelagem computacional que utiliza dados numéricos coletados do sistema real e a avaliação destes dados e seu tratamento é feito por softwares adequados, gerando resultados também numéricos, o presente estudo é classificado como pesquisa quantitativa (SILVA; MENEZES, 2001).

A metodologia proposta por Banks (2000) mostra as 12 etapas a serem seguidas (Figura 11) para a metodologia usada nas simulações, sendo elas:

Etapa 1- Formulação do problema: consiste na realização de uma pesquisa de campo para o entendimento claro da dinâmica do sistema real em questão. Neste momento o cliente informa ao modelador qual é o seu problema e o modelador deve preparar um descritivo minucioso do problema em parceria com o cliente.

Etapa 2 – Plano de projeto e definição dos objetivos: são estabelecidos os objetivos e o plano de trabalho, com os objetivos o modelador já possui uma indicação de quais serão as prováveis questões a serem respondidas ao final do trabalho.

Etapa 3 – Conceituação do modelo: trata-se da formulação conceitual de um modelo inicialmente simples, com as características básicas do sistema. Este primeiro modelo é modificado posteriormente para obtenção de um modelo cujos resultados sejam o mais próximos do sistema real.

Etapa 4- Coleta de dados: é a tomada de dados do sistema a ser estudado, que pode conter medição de tempo de execução de processos até avaliação dos recursos necessários para a execução deste processo. O tipo de dados a serem coletados depende dos objetivos do modelo. Esta etapa ocorre simultaneamente à Etapa 3. Embora a etapa de coleta de dados na Figura 11 esteja representada como parte do processo de modelagem, não é possível dissociá-la da formulação do modelo conceitual, pois é a partir das informações obtidas com a coleta de dados que hipóteses e relações iniciais são acrescentadas ao modelo.

Etapa 5- Programação do modelo: a programação do modelo é quando se traduz o modelo para a linguagem do *software*, envolvendo uma sequência de codificação de dados.

Etapa 6 – Verificação: o modelador realiza testes para a verificação de possíveis erros de programação (*bugs*) e refinando a sua lógica de programação.

Etapa 7 – Validação: é a determinação de quanto o modelo representa a realidade do sistema. O ideal seria comparar os resultados do modelo com os resultados reais do sistema, mas se o sistema ainda não existe a validação deverá ser realizada através de outros métodos. Caso encontre algum erro neste momento são feitas modificações do modelo que podem ser vistas como uma calibração do mesmo até que a precisão do modelo seja aceitável.

Etapa 8 – Projeto experimental: sendo então o modelo representativo podem-se testar novos parâmetros diferentes dos iniciais, ou seja, serão realizadas as simulações dos experimentos ou novos cenários que o cliente deseja e determinado o número de replicações necessárias.

Etapa 9 – Rodar e analisar: são realizadas as replicações necessárias para a avaliação do desempenho dos cenários simulados.

Etapa 10 – Mais rodadas?: determina a necessidade de mais replicações ou não e caso seja necessário em qual passo deverá ser iniciada a replicação (Etapa 8 ou 9).

Etapa 11 – Documentação do modelo e relatório: o modelador prepara toda a documentação do modelo e os relatórios finais para o cliente analisar as alternativas e decidir qual deverá ser implementada.

Etapa 12- Implantação de mudanças no sistema estudado.

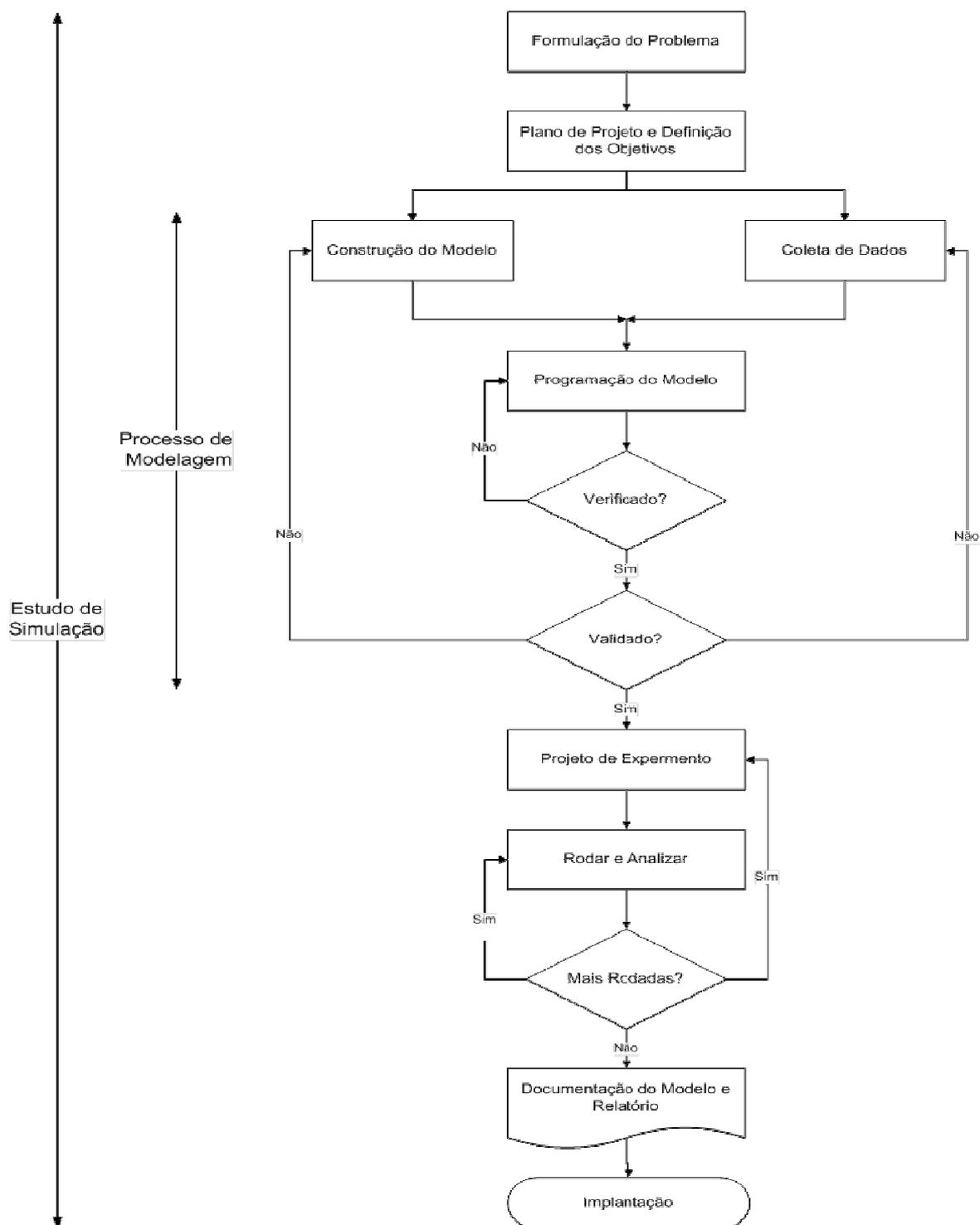


Figura 11 - Etapas para um estudo de modelagem e simulação
Fonte: Banks (2000)

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A indústria de mosaicos em estudo é caracterizada como de pequeno porte, localizada no município de Medianeira, Paraná. Na indústria são fabricados mosaicos, faixas e tozetos de diferentes tamanhos e materiais, sendo eles mármore, granito, quartzito, basalto e arenito (Figura 12). As peças utilizadas na fabricação dos produtos vêm tanto de lotes fechados de matéria prima ou do aproveitamento de outra empresa, uma marmoraria, que não consegue utilizar a matéria prima totalmente, gerando resíduos, como sobras de cortes de pedras que por conta do tamanho não podem ser aproveitadas na marmoraria, porém podem ser usadas no processo de fabricação de mosaicos. Portanto, as peças usadas na fabricação dos produtos têm recortes diferentes, o que não dificulta o processo em si, pois na indústria as peças são cortadas em diversas dimensões, a fim de formar o produto final. A empresa tem um depósito com os diversos tipos de pedras, a céu aberto e outro dentro do barracão e, conforme a necessidade ou demanda, as mesmas são levadas para a empresa para que se inicie o processo de fabricação.

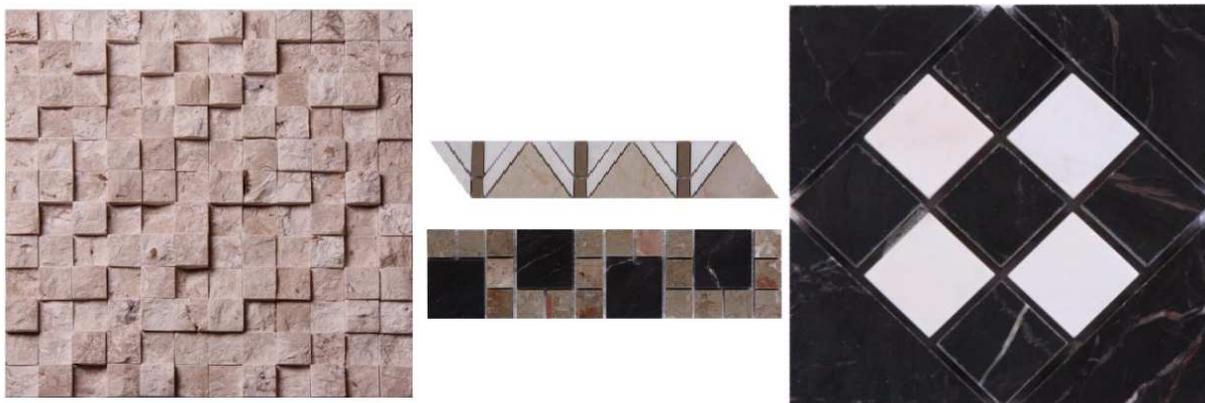


Figura 12 – Produtos da indústria de mosaicos estudada (mosaico, faixas e tozeto, respectivamente)

Fonte: AUTOR (2013)

3.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Na Figura 13 apresenta-se o fluxograma do processo de fabricação dos mosaicos.

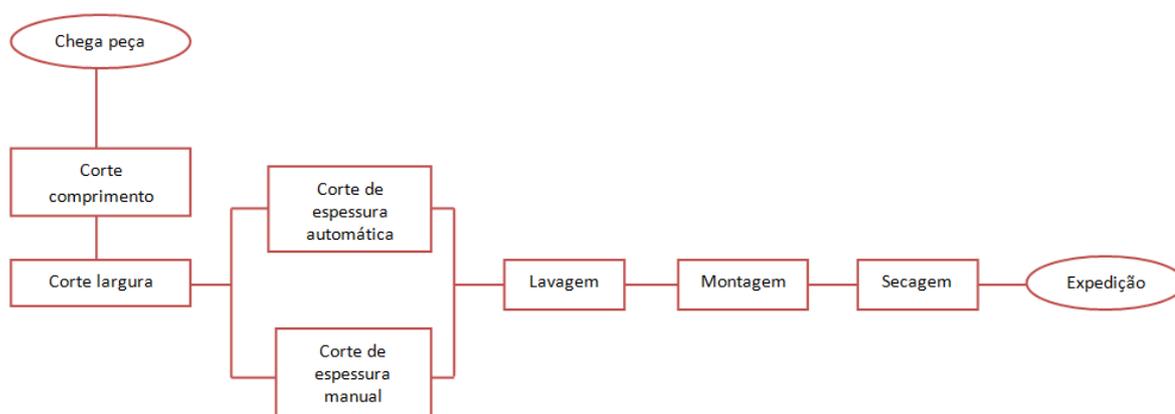


Figura 13 – Fluxograma do processo de fabricação de mosaicos em estudo
Fonte: AUTOR (2013)

O processo de fabricação do mosaico inicia com a coleta das pedras no depósito da empresa (Figura 14), dentro ou fora do barracão. Na sequência, as pedras são cortadas em uma máquina de corte no sentido longitudinal (comprimento), nesta etapa são retirados os filetes do material. Nesta máquina as dimensões dos filetes são ajustadas manualmente, através da distância entre as cerras. Após os filetes serem cortados no comprimento, os mesmos são cortados na largura, a fim de tomar a forma quadrada ou retangular das peças do mosaico, com a largura definida pelo tipo de peça se ser montada. Para o trabalho desenvolvido, apenas uma dessas etapas foi efetuada, a segunda etapa, que foi a do corte de largura, pois os filetes já se encontravam cortados no sentido do comprimento da pedra. Em seguida é realizado o corte de espessura das pedras, que pode ser realizado em duas máquinas diferentes, uma automática, em que existe uma esteira que leva o filete que passa pela cerra, sendo que o operador só coloca a pedra cortada e a acompanha, depois retira as peças da máquina, atingindo assim a espessura desejada a partir da regulagem da cerras de corte, ou manualmente (Figura 15), em que as peças estão depositadas em uma mesa e o operador da cerra manual pega uma pedra cortada por vez e efetua o corte de espessura. Algumas peças de tamanho reduzido podem ser cortadas na guilhotina, mas este processo não é muito utilizado na indústria, dependendo ainda do tipo de mosaico, faixa ou tozeto a ser fabricado.

Posterior ao corte com as adequações de medidas, as pedras são então lavadas com água com o fim de retirar o pó que se deposita durante os processos

de corte. As pedras permanecem em cima de uma lona no chão, onde o responsável pela montagem dos mosaicos busca as pedras.

O processo de montagem consiste na colocação das pedras de acordo com as formas presentes no molde, quando todas foram encaixadas o molde é levado até outra bancada para a passagem da cola e colocação da rede para a fixação das pedras. O próximo passo consiste na colocação do molde das pedras já coladas na rede dentro de uma estufa, onde permanecem por alguns minutos em uma esteira, para a secagem da cola. Como as pedras podem absorver uma quantidade mais elevada de água durante os processos, já que todos os cortes são efetuados com água a fim de diminuir a poeira e a temperatura das cerras durante o corte, e são expostas a água da lavagem, após a retirada da estufa os mosaicos, faixas ou tozetos são retirados dos moldes e colocados em placas de madeira de dimensões aproximadas as dos moldes usados e depositados em uma mesa, em que permanecem por algumas horas para finalizar o processo de secagem das pedras naturalmente. O controle de qualidade das peças é feita pelos funcionários durante o processo, sendo que as peças que não estão dentro dos padrões especificados para a confecção do mosaico são descartadas.

Quando estão totalmente secas, são embaladas, enviadas ao estoque final e depois expedidas da indústria, segundo o pedido.



Figura 14 – Depósito de pedras
Fonte: AUTOR (2013)



Figura 15 – Corte manual
Fonte: AUTOR (2013)

3.4 COLETA DE DADOS

Para que a simulação seja realmente confiável faz-se necessário que se colete os dados da maneira certa, já que qualquer erro nesta etapa comprometerá todo o trabalho seguinte. A coleta pode ser realizada de duas formas:

1. por observação (*in loco*) e medição dos tempos de cada atividade;
2. por acesso aos dados da empresa (quando possível).

Após os dados serem coletados, os mesmo são analisados pela ferramenta *Input Analyzer* (analisador dos dados de entrada) do *software* Arena.

A simulação da dinâmica operacional do processo será realizada com o *software* Arena, e os resultados analisados nas ferramentas *Output Analyzer* e *Process Analyzer*.

A fim de se eliminar possíveis erros obtidos durante a cronometragem dos tempos ou eventualidades no processo, encontram-se os *outliers*, que são os pontos discrepantes dentro do grupo de dados, estes que poderiam comprometer o trabalho por não serem confiáveis. O Quadro 1 demonstra a técnica de identificação que será usada no estudo. Os *outliers* considerados como extremos, só serão descartados

das amostras depois de uma análise criteriosa de suas causas. Os valores julgados como possíveis de ocorrer deverão ser mantidos nas amostras.

Outliers
$A=Q^3-Q^1$
Valor < $Q^1-1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor > $Q^3+1,5A$ - <i>Outlier Moderado</i>
Valor < $Q^1-3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>
Valor > $Q^3+3,0A$ - <i>Outlier Extremo</i>

Quadro 1 – Identificação de *outliers*

Sendo Q^1 e Q^3 , respectivamente, os valores do primeiro e terceiro quartis, assim a amplitude entre inter-quartil “A” é calculada pela diferença: $A=Q^3-Q^1$.

A coleta dos dados foi feita em parceria com os funcionários diretamente ligados ao processo de fabricação dos mosaicos pelo método de observação. Durante esta etapa, concluiu-se que seria necessário para a simulação determinar as seguintes variáveis: TRM: Tempo de regulagem das máquinas (10 minutos); TCL: Tempo de corte longitudinal; TCEA: Tempo de corte de espessura automático; TCEM: Tempos de corte de espessura manual; TPPCM: Tempo de preparação do processo de montagem e colagem (20 minutos); TM: Tempos de montagem; TC: Tempos de colagem e TE: Tempos na estufa.

3.5 NÚMERO DE REPLICAÇÕES

A coleta de dados para a composição de uma amostra a partir da simulação de um modelo pode ser geralmente realizada de duas formas:

a) fazendo uso das observações individuais dentro de cada replicação. Por exemplo, pode-se simular o processo e utilizar o tempo que cada mosaico

espera na fila de corte para realizar uma estimativa do tempo médio de espera na fila. Neste caso, o tamanho da amostra será igual à quantidade de peças ornamentais que passaram pela fila ao longo do período simulado;

b) realizando n simulações, ou seja, replicações. Neste caso cada replicação gera um elemento para a amostra. Uma vez que estamos lidando com um sistema terminal no qual as condições iniciais e o período de simulação são fixos, a melhor maneira de garantir que os valores da amostra sejam estatisticamente independentes é obtê-los a partir de replicações independentes.

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) será obtido através da seguinte expressão:

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*} \right)^2 \quad (1)$$

sendo que:

n - número de replicações já realizadas;

h - semi-intervalo de confiança já obtido; e

h^* - semi-intervalo de confiança desejado.

3.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

Na execução do procedimento de validação, para o sistema em estudo, deve ser utilizado o erro médio estimado:

$$SE = \sqrt{\frac{(SR - MD)^2}{GLR}} \quad (2)$$

sendo que:

SE – erro médio estimado;

SR – valor obtido a partir do sistema real;

MD – média dos valores gerados pelo modelo; e

GLR – grau de liberdade considerando o número de replicações do modelo.

3.7 TAMANHO DA AMOSTRA

O tamanho de cada uma das amostras, a serem cronometradas neste trabalho, será obtida, para um nível de confiança de 95%, através da seguinte expressão:

$$n_A = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \times S}{E} \right)^2 \quad (3)$$

em que:

n_A - número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$ - valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S - desvio padrão; e

E - erro máximo estimado.

4 .RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada uma avaliação descritiva completa dos dados coletados na indústria de mosaicos no software Statistica® versão 10. A Tabela 1 apresenta, como exemplo, os dados coletados no processo de corte longitudinal das peças (TCL).

Tabela 1 – Análise dos dados – TCL.

Parâmetro analisado	TCL
Pontos	94
Média	82,3 s
Mediana	84 s
Mínimo	61 s
Máximo	99 s
1 Quartil (Q ¹)	79 s
3 Quartil (Q ³)	85 s
Desvio Padrão	5,85
Coefficiente de Variação	7,11 %

Segundo PIMENTEL GOMEZ (2000), nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for inferior a 10% tem-se um coeficiente de variação baixo, de 10 a 20% médio, de 20 a 30% alto e acima de 30% muito alto.

4.1 TRATAMENTO DOS DADOS

Inicialmente, os dados foram plotados em forma de *boxplot* (Figura 16) para uma análise preliminar do comportamento das observações. A seguir, aplicou-se a técnica de identificação de *outliers* (valores fora da normalidade) apresentada anteriormente no Quadro 1.

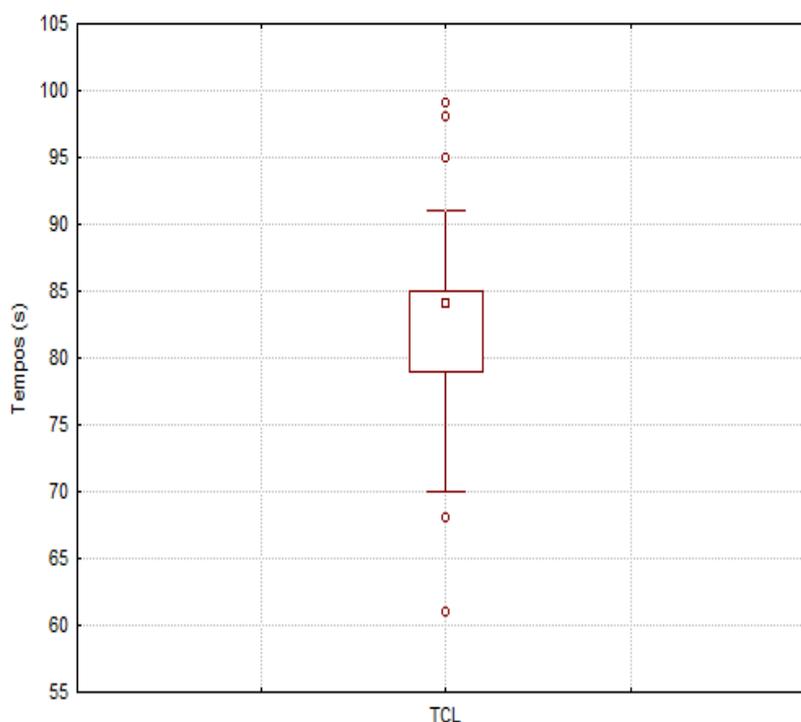


Figura 16 – Boxplot – TCL (Tempos de corte longitudinal)
Fonte: AUTOR (2013)

Após a análise dos dados cronometrados no sistema, através de técnicas estatísticas (MARIN e TOMI, 2010), o passo seguinte foi determinar as curvas de distribuição teórica de probabilidades que melhor representem o comportamento estocástico do sistema em estudo, através da ferramenta *Input Analyzer* do *Arena*®. Como os *p-values* encontrados nos testes de aderência: teste Chi Square e do teste Kolmogorov-Smirnof são maiores que o nível de significância adotado (0,1) (CHIWF e MEDINA, 2007), concluiu-se que as distribuições, apresentadas no Quadro 2, são as expressões que melhor se adaptaram aos dados coletados no sistema.

Distribuição da equação característica	
TCL	UNIF(75,100)
TCEA	6.25+LOGN(2.31,0.653)
TCEM	-19.4+GAMM(1.11,38.4)
TC	86.2+WEIB(24.5,1.89)
TE	-2.61+WEIB(23.5,4.73)

Quadro 2 - Distribuição de probabilidades

4.2 VALIDAÇÃO DO MODELO IMPLEMENTADO

Inicialmente, a validação, do modelo computacional, foi realizada por meio da técnica face a face onde o modelo foi executado para os funcionários do processo de fabricação dos mosaicos que o consideraram correto. Na sequência realizou-se uma comparação (Quadro 3) entre a média obtida do sistema real com a média gerada pelo modelo para a variável Número de Mosaicos Produzidos (NMP). Nesta tabela apresenta-se, também, o erro médio estimado (SE, em decimal).

Número de Mosaicos Produzidos NMP		
Sistema Real	Modelo Computacional	SE
105	103±7	0,51

Quadro 3 - Dados do sistema real e do modelo computacional

Através da análise dos resultados do Quadro 3 pode-se concluir que o modelo computacional apresenta uma boa aproximação, em relação ao número de mosaicos produzidos, com o sistema real.

4.3 SIMULAÇÃO

Uma vez validado o modelo computacional (Figura 17) pode-se passar, segundo o método de pesquisa, para a etapa de análise. Nessa etapa o modelo computacional, agora denominado operacional, passa a trabalhar para o modelador com o intuito de responder aos objetivos do projeto de simulação.

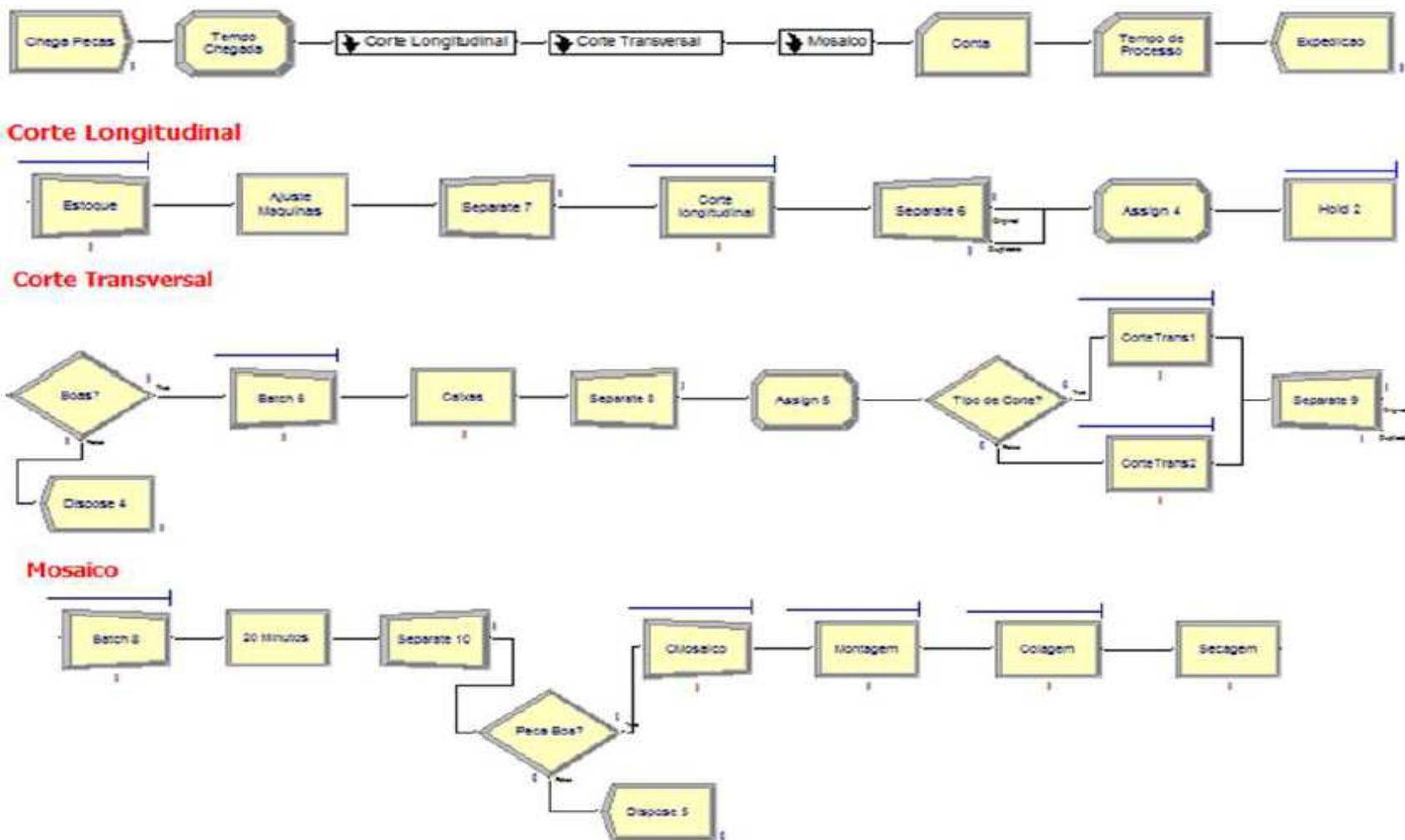


Figura 17 – Modelo computacional

Fonte: AUTOR (2013)

Observou-se através de dados coletados através das medições de tempos efetuadas na empresa que o “gargalo” principal, do sistema em estudo, está nos processos de montagem e colagem dos mosaicos.

Para analisar estes processos, são propostos dois cenários com o objetivo de observar a resposta do sistema a partir de alterações no número de funcionários atendendo o setor de montagem e colagem dos mosaicos. Os indicadores de desempenho utilizados para a análise são os tempos na fila dos processos de montagem e colagem e o tempo de produção de todo o lote de mosaicos.

- Cenário 1: Processos de montagem e colagem atendidos por 1 funcionário (Cenário Atual);

- Cenário 2: Processos de montagem e colagem atendidos por 2 funcionários.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos da simulação do sistema, envolvendo os dois cenários (Cenário 1 e Cenário 2). Deve ser ressaltado que os resultados foram obtidos após quinze reaplicações. Este número de reaplicações foi definido com nível de confiança de 95%, utilizando a ferramenta *Output Analyzer* do software *Arena*®.

Tabela 2 - Resultados da simulação dos cenários 1 e 2.

Cenário	Funcionários	TFC (min)	TFM (min)	Tempo de Produção (min)
1	1	173,97	92,031	893,4
2	2	50,32	42,82	743,4

TFC:Tempo na Fila da Colagem – TFM: Tempo na Fila da Montagem.

A partir dos dados apresentados na Tabela 2 pode-se claramente observar que o melhor cenário simulado é o Cenário 2, que conta com dois funcionários para realizar as funções de montagem e colagem, pois o mesmo apresentou uma redução de aproximadamente 2h30min no tempo de produção em relação ao cenário atual (Cenário 1). Como consequência, observa-se também, a redução nos tempos de filas de montagem e de colagem com a inclusão de mais um funcionário para o atendimento destes processos, comprovando assim a redução no tempo de produção no setor.

4.4 ARRANJO FÍSICO

A visão sistêmica obtida, através da simulação computacional, contribuiu para compreensão do funcionamento das operações necessárias para a fabricação dos mosaicos, sendo possível identificar as interações entre as partes de cada um dos processos, os problemas potenciais e efetivos, e as oportunidades de melhorias contínuas.

Em relação a melhorias foi proposta, neste trabalho, a mudança no arranjo físico da empresa com o objetivo de obter um fluxo racional e melhores condições de trabalho. O arranjo físico proposto dispõe as máquinas de tal maneira que na maioria das peças fabricadas, os equipamentos e as etapas sigam uma ordem lógica, evitando o cruzamento das etapas, que dificulta a locomoção tanto das peças quanto das pessoas por entre as mesmas, além de otimizar o espaço e organiza-lo para que outros equipamentos, de acordo com a necessidade, possam ser instalados sem interferir na produção e nas etapas.

Nas Figuras 18, 19, 20 e 21 apresentam-se o arranjo físico atual de toda a indústria, o arranjo físico atual do processo onde foram efetuadas as medições e onde grande parte dos produtos são produzidos, a proposta do arranjo físico para o processo em estudo e a proposta de um novo arranjo físico para toda a indústria, respectivamente.

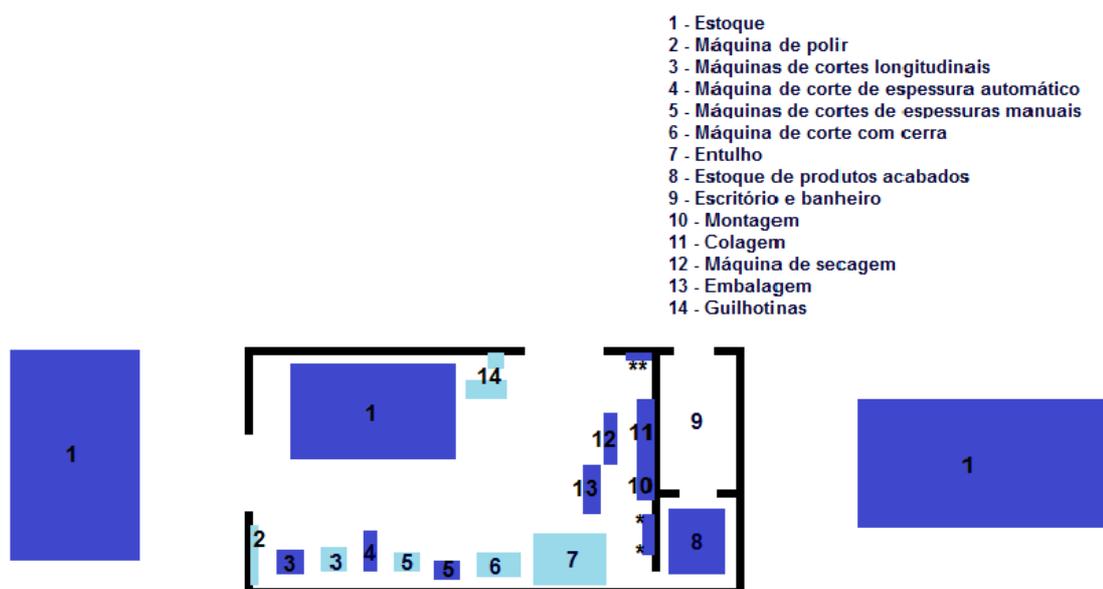


Figura 18 – Arranjo físico atual da indústria
 Fonte: AUTOR (2013)

Na Figura 18 pode-se visualizar a localização dos estoques atuais na indústria, estes contam com os *pallets* fechados e os resíduos de pedras provenientes da marmoraria. O número 2 representa a máquina de polir, que não é muito utilizada, bem como as guilhotinas, que são usadas somente em processos de produtos mais específicos. Atualmente existem duas máquinas de corte usadas para realizarem os corte no comprimento e na largura das pedras. O número 4 é onde está localizada a máquina de corte de espessura automática, e nos números 5 e 6 estão localizadas as cerras manuais, usadas em diversos processos diferentes. Nos números 10, 11, 12 e 13 são realizadas as montagens, colagens, secagens e embalagens dos produtos, respectivamente. No número 8 se encontra o local onde os produtos acabados permanecem antes da sua expedição, e o 9 é o espaço do banheiro e o escritório. Os ** representam os armários em que alguns dos itens usados na produção são armazenados, em armários. No número 7 se encontram alguns utensílios, uma máquina e alguns tonéis, algumas das ferramentas e tonéis lá presentes, são utilizados nos processos, porém os maiores volumes são de equipamentos e utensílios não utilizados, por esta forma foram aqui especificados como entulho.

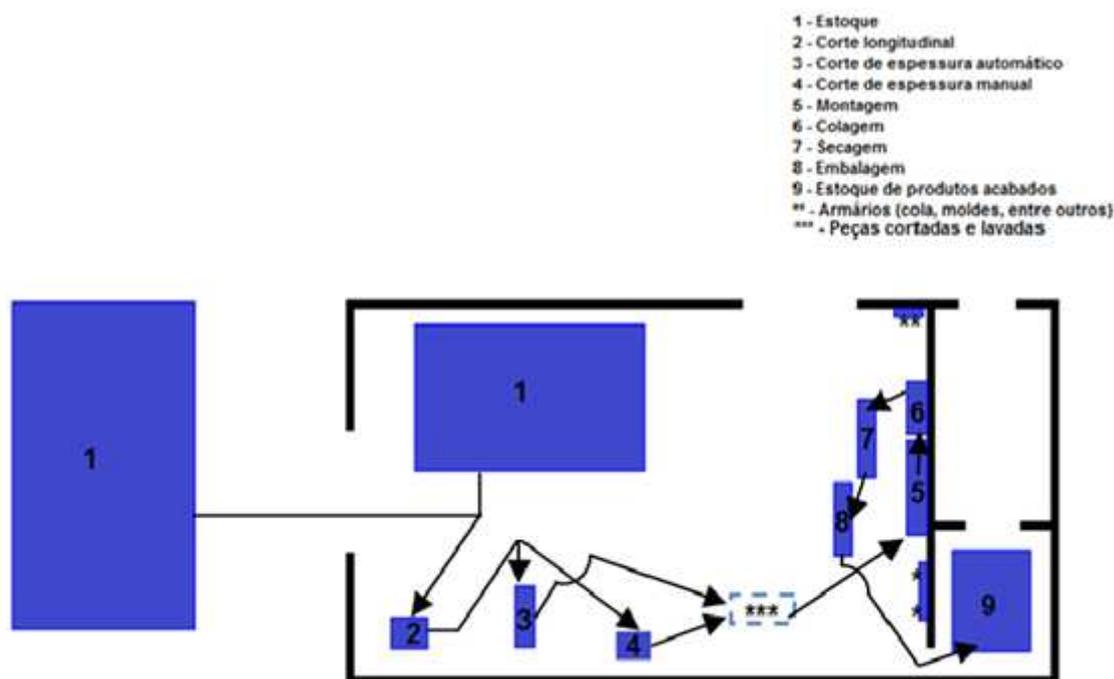


Figura 19 – Arranjo físico atual do processo em estudo
 Fonte: AUTOR (2013)

Na Figura 19 está desenhado o processo de fabricação de mosaicos em que as medições de tempos para a simulação foram efetuadas. O processo teve início na retirada das pedras que seriam utilizadas do estoque, que foram levadas até o número 2, onde foram cortadas no seu comprimento e depois na sua largura, a fim de se tornarem pequenos retângulos. Após este procedimento, as pedras foram armazenadas em engradados, cada um cotendo 300 peças, e totalizando 6 engradados, e cortadas na espessura nos processos de corte automático (3) e manual (4). Quando as pedras se encontravam todas nas dimensões corretas, elas foram lavadas (***) a fim de retirar o pó resultante dos processos que envolvem os cortes, e depois, levadas por caixas menores pelo funcionário que realiza os demais procedimentos, que começam na montagem (5), posteriormente são coladas (6), então a cola é seca na estufa (7) e o restante da umidade diminui naturalmente, já que as peças já prontas são dispostas no número 8, e após algumas horas são embaladas e despachadas (9).

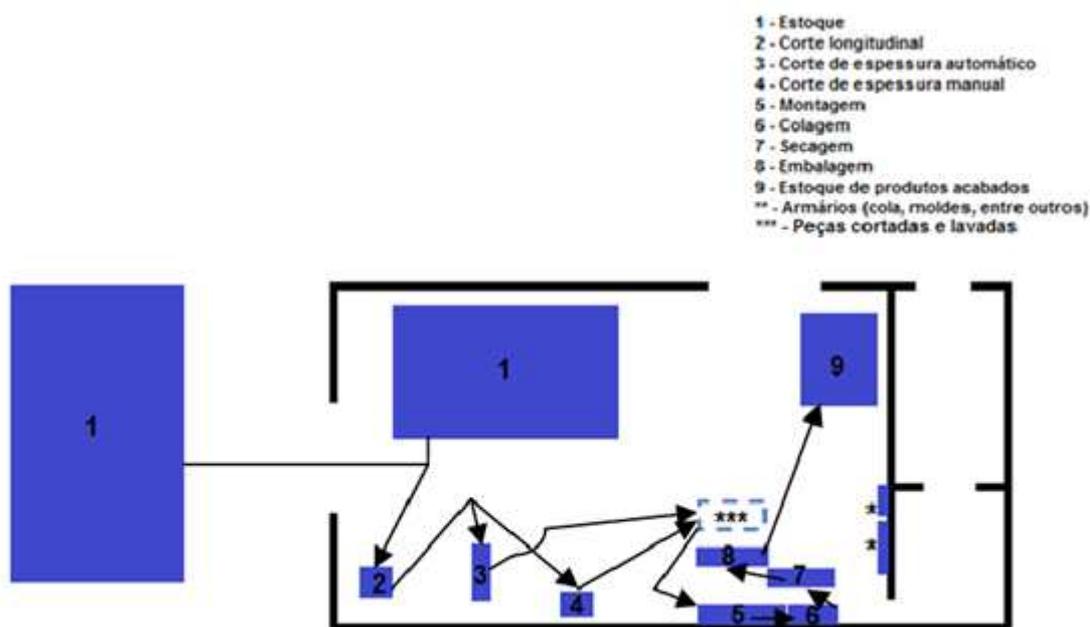


Figura 20 – Proposta do novo arranjo físico para o processo em estudo
Fonte: AUTOR (2013)

Para a nova configuração de arranjo físico envolvendo o processo em questão (Figura 20), propõe-se que sejam alteradas de local as etapas de montagem (5), colagem (6), secagem (7) e embalagem (8), a fim de tornar o processo mais linear, ainda mais porque a maioria das peças fabricadas na indústria seguem basicamente esses passos na sua produção. Sugere-se também que o

estoque de produto acabado se concentre mais perto da porta, facilitando assim o seu despacho. Os armários (**) que anteriormente estavam afastados seriam colocados lado a lado e ambos perto dos processos 5, 6 e 7 em que são usados. A lavagem das pedras foi mantida no mesmo local, onde ficará próximo da montagem, reduzindo o espaço e o tempo para pegar as pedras e levá-las até o processo 5, já que esse caminho é percorrido várias vezes durante a confecção dos mosaicos. O estoque e as máquinas de corte longitudinal e de espessuras (automática e manual) foram mantidos no mesmo local.

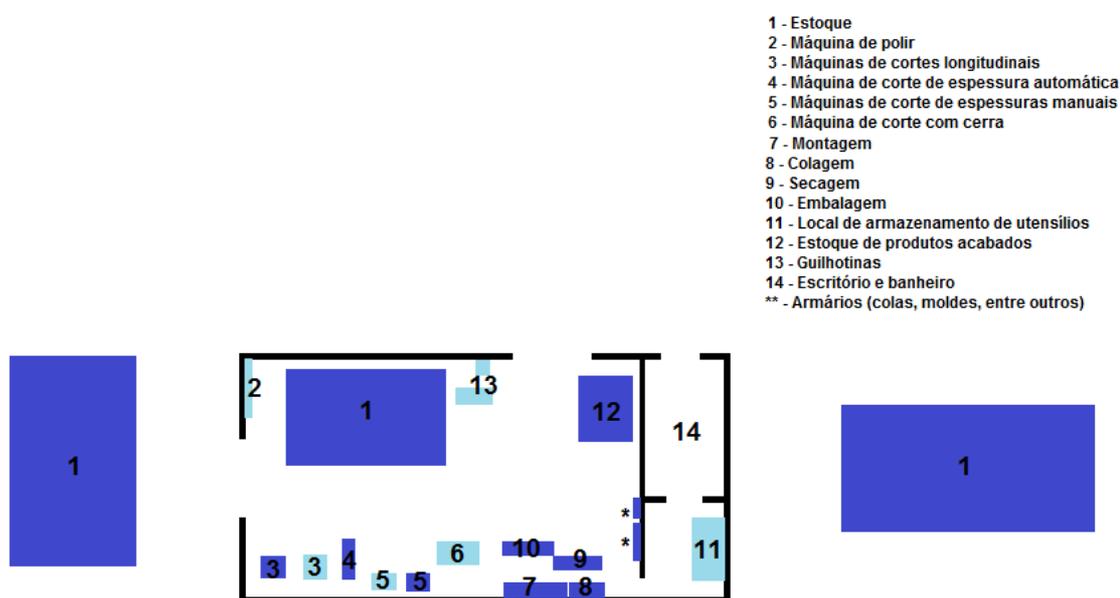


Figura 21 – Proposta do novo arranjo físico para a indústria
 Fonte: AUTOR (2013)

Após as modificações realizadas no processo de fabricação dos mosaicos, o novo arranjo físico da indústria está ilustrado na Figura 21. Pode-se destacar a criação de um local para o armazenamento de utensílios (11) no local onde antes se encontrava o estoque de produtos acabados (7 da Figura 18), onde deverá ser feita a seleção do que for aproveitável e que estava presente no espaço anterior (7 da Figura 18). Os utensílios poderão ser armazenados em prateleiras, facilitando não só o armazenamento, mas também a organização. Outra mudança foi à alteração da máquina de polir (2), que foi alocada para perto do estoque, já que não é muito utilizada, liberando assim espaço para que os demais equipamentos fossem colocados em linha, como foi proposto.

Com esta nova configuração de arranjo físico, visa-se diminuir os tempos de produção durante o carregamento das pedras até as próximas etapas, também em função do peso carregado pelos funcionários no transporte dos engradados cheios de pedras. Além disso, os cruzamentos durante os processos foram praticamente eliminados, tornando o arranjo físico mais limpo e eficiente. Como ganhos aplicando o arranjo físico pode-se ter um maior controle dos processos, estes que podem ser efetuado mais facilmente, pois a visualização da indústria como um todo fica mais clara.

Apesar de o estudo não contemplar a viabilidade econômica destas mudanças, as mesmas podem ser aplicadas facilmente, pois não foi proposta a troca de equipamentos, somente as suas realocações.

5 .CONCLUSÕES

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação do modelo computacional usado para simular a dinâmica operacional do processo de fabricação de mosaicos de uma empresa de pequeno porte localizada na região oeste paranaense.

De acordo com os resultados das análises procedidas para a validação do modelo computacional, foi possível concluir que o mesmo pode ser aplicado para simular a dinâmica operacional do processo de fabricação de mosaicos, principalmente na previsão da variável NMP (Número de Mosaicos Produzidos).

Observou-se através dos resultados obtidos de simulação, que a utilização de mais um funcionário no atendimento dos processos de montagem e colagem reduz o tempo de fabricação em 2h30, considerando que o processo total levou aproximadamente 15h, a redução mostra-se bastante significativa em relação ao aumento da produtividade e redução de filas no setor.

A aplicação da simulação computacional gerou um conhecimento adicional à cerca do processo para todos os envolvidos e possibilitou, também, a identificação de oportunidades de melhorar o processo de fabricação de mosaicos. Assim sendo foi proposta uma nova configuração do arranjo físico da indústria, e conseqüentemente do processo estudado. Seus principais benefícios são a economia dos tempos no deslocamento das pedras e das pessoas, conta com uma produção em linha que evita os cruzamentos das atividades e facilita a expedição do produto final. Outra proposta foi à criação de um local para o armazenamento de utensílios, e sugeriu-se que o “entulho” localizado no meio do processo fosse eliminado, permanecendo na indústria somente o que fosse necessário.

Com aprendizado acadêmico, pode-se confirmar a importância da ferramenta computacional para um profissional de Engenharia de Produção, podendo ser aplicada nos mais diferentes setores indústrias e de serviços, como fonte de pesquisa antes da implementação de melhorias ou na concepção de novas indústrias ou setores. Quanto ao arranjo físico, nota-se que os conhecimentos adquiridos em sala podem ser aplicados aos mais diversos tipos de indústrias ou estabelecimentos, independente do seu porte, e com que pequenas alterações,

como no caso alocação dos equipamentos já existentes e utilizados, todo o processo fica mais compacto e de com fácil movimentação de insumos e pessoas.

Para trabalhos futuros, poderiam ser estuda a viabilidade econômica da implantação de mais uma estufa, juntamente com um novo funcionário que trabalhasse no setor de montagem e colagem, como foi sugerido, com fins do aumento da produção, bem como a aplicação dos conceitos de troca rápida de ferramentas nos processos de corte e um estudo aplicado no gerenciamento dos estoques das pedras, diminuindo os custos de compra de matérias primas que forem desnecessárias no momento.

REFERÊNCIAS

ABRIROCHAS. **Balço sucinto das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais e de revestimento em 2011**. Janeiro de 2012. Disponível em: < http://www.ivolution.com.br/mais/fotos/6/17/1144/Informe_01_2012.pdf >. Acesso em 4 de jul de 2013.

ARENALES, M. ET AL. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BANKS, J.; CARSON, J.S. **Discrete-event system simulation**. Prendice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1884.

BANKS, J. **Introduction to simulation**. Proceedings of the Winter Simulation Conference. Atlanta, 2000.

BANKS, Jerry. **Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and Practice**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

COSTA, J. J. S. **Tópicos de pesquisa operacional**. Editora LTC, 1973

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. (2007) **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria & aplicações**. São Paulo. Brazilian Books.

DÁCOL, Mary Rosane Vicente. **Caderno pedagógico: Abordagens do mosaico no ambiente escolar**. Secretaria de estado da educação Superintendência da Educação Programa de Desenvolvimento Educacional – PDE, Curitiba, 2008.

DÁVOLOS, Ricardo Villarroel. Uma abordagem do ensino de Pesquisa Operacional baseada no uso de Recursos Computacionais. **ENEGEP**, Curitiba, 2002.

DNPM. **Anuário Mineral Brasileiro 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/relatorios/amb/Completo_2010.pdf>. Acesso em 4 de Jul de 2013.

DNPM. **Sumário mineral 2012**. Vol 32, 2012. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7366>. Acesso em 4 de Jul de 2013.

FREITAS FILHO, Paulo José. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: McGraw-Hill, 2010.

IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**. Vol 71, 2011.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York. McGraw- Hill, 2000.

LEMOS, Ana Carla. **Aplicação de uma Metodologia de Ajuste do Sistema Kanban em um Caso Real Utilizando a Simulação Computacional**. Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

MARIN, T.; TOMI, G. F. C. **Modelagem de dados de entrada para simulação estocástica del lavra**. Revista Escola de Minas, v. 60, p. 559-62. 2010.

MASTERPEICE MOSAICOS. **História do Mosaico**. Disponível em <<http://www.masterpiecemosaicos.com.br/?link=empresa>>. Acesso em 26 jan. 2013.

MDIC. **Anuário estatístico do setor industrial de 2011**. 2011

MOREIRA, Daniel Augusto. **Introdução à Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Pioneira, 2001.

OLIVEIRA, Rosana Cavalcante de. **Pesquisa Operacional**. Universidade do Estado do Pará. Pará: 2008.

PARAGON. Disponível em: < <http://www.paragon.com.br> >. Acesso em 11 de fev. 2013.

PEGDEN, C.D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. **Introduction to simulation using SIMAN**. McGraw-Hill, NY, 2 ed, 1990.

PEINADO, Jurandir. GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: Operações Industriais e de Serviços**. Curitiba: UnicenP, 2004.

PIMENTEL GOMEZ, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Degaspari, Piracicaba, 2000.

PRADO, Darci. **Usando o ARENA em simulação**. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.

SILVA, E. L. da; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**, 3. ed, p.121. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. Disponível em: <
http://www.ppgep.ufsc.br/Metodologia_da_Pesquisa_3a_edicao.zip >. Acesso em: 14 fev.2013.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Revisão técnica Henrique Corrêa, Irineu Giansesi. São Paulo : Atlas, 2002.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira. 3 ed. São Paulo : Atlas, 2009.

SOBRAPO. **Pesquisa Operacional**. Disponível em: <
http://www.sobrapo.org.br/o_que_e_po.php >. Acesso em 12 de fev. 2013.

TREIN, Fabiano André, AMARAL, Fernando Gonçalves. A aplicação de técnicas sistemáticas para a análise e melhoria de layout de processo na indústria de beneficiamento de couro. **ENEGEP**, Salvador - BA, 2001.

TOMPKINS, James A., WHITE, John A., BOZER, Yavuz A. **Facilities Planning**. 2ed. New York: John Willey, 1996.

TOMPKINS, James A., WHITE, John A., BOZER, Yavuz A. **Facilities Planning**. 3ed. New York: John Willey, 2003.

UPJOHN, Everard; WINGERT, Paul S.; MAHLER, Jane Gaston. ***História Mundial da Arte: dos Etruscos ao fim da Idade Média***. v.2. Tradução Maria Benedicta Monteiro. Lisboa: Bertrand, 1979. (Enciclopédia de Bolso Bertrand).

VIDAL, Francisco Wilson Holanda; STELLIN JÚNIOR, Antonio. **A indústria extrativa de rochas ornamentais no Ceará**, USP, São Paulo, p. 1, 1995. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

VILLAR, A. M.; PORTO, E. S. Análise do arranjo físico geral como base para racionalização da produção – um estudo de caso. **ENEGEP**. Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2007.