XX SIMPEP
SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
04, 05 e 06 de novembro 2013
Engenharia de Produção & Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

MENSURAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA LINHA DE USINAGEM DE ACESSÓRIOS PREMIUM ATRAVÉS DA SIMULAÇÀO COMPUTACIONAL

VICTOR AMORIM FREITAS - victor.amorim.freitas@hotmail.com
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF

EDWIN BENITO MITACC MEZA - emitacc@id.uff.br
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF

IARA TAMMELA - iaratammela@vm.uff.br
UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE - UFF

Resumo: *O PRESENTE PROJETO ABORDOU A APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COMO FERRAMENTA AUXILIAR PARA MENSURAR E MELHORAR A PRODUTIVIDADE DE UMA FÁBRICA RECÉM INAUGURADA, AUXILIANDO A GERÊNCIA DA EMPRESA A COMPROMETER PRAZOS E CAPACIDADE DE PRODUUÇÃO PARA OS CLIENTES. A NECESSIDADE DA QUANTIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DIÁRIA PARTIU DA GERÊNCIA DA EMPRESA, POIS QUANDO SÃO FABRICADOS PRODUTOS COM DIFERENTES ESPECIFICAÇÕES OS TEMPOS DE PROCESSAMENTO VARIAM CONSIDERAVELMENTE, DIFICULTANDO A MENSURAÇÃO DA CAPACIDADE DE ATENDIMENTO ÀS DEMANDAS DE NOVOS PRODUTOS. PARA FAZER USO DA SIMULAÇÃO FOI PRECISO ENTENDER BEM OS PROCESSOS E POR ISSO ESSES TIVERAM QUE SER AVALIADOS E MAPEADOS. PARA A CONSTRUÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO UTILIZOU-SE O PACOTE DE SIMULAÇÃO PROMODEL®, QUE INCLUI UM SOFTWARE DE ANÁLISE DE DADOS STATFIT®. PODE-SE CONCLUIR QUE OS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO POSSIBILITARAM A VIABILIZAÇÃO DA AQUISIÇÃO DE NOVOS RECURSOS PARA A FÁBRICA, TENDO EM VISTA UM AUMENTO DE ATÉ 94% NA SUA PRODUÇÃO DIÁRIA. ALÉM DE OUTROS BENEFÍCIOS PARA A EMPRESA, COMO A AUMENTO DA CREDIBILIDADE COM OS CLIENTES COM A FIRMAÇÃO DE PRAZOS MAIS CONFIÁVEIS DE ENTREGA DE PEDIDOS E MAIOR UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS HOJE INSTALADOS.*

Palavras-chaves: *SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL, PRODUÇÃO, MAPEAMENTO DE PROCESSOS*

Área: *6 - PESQUISA OPERACIONAL*
Sub-Área: *6.4 - MODELAGEM, ANÁLISE E SIMULAÇÃO*

MEASUREMENT AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION LINE CUTTING ACCESSORIES PREMIUM THROUGH COMPUTATIONAL SIMULATION

Abstract: *THIS PROJECT CONSIDERED THE APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION AS A TOOL TO ASSIST MEASURING AND IMPROVING PRODUCTIVITY OF A NEWLY OPENED FACTORY, HELPING MANAGEMENT COMPANY TERMS AND COMPROMISE PRODUCTION CAPACITY FOR CUSTOMERS.THE NEED FOOR MEASUREMENT OF CAPACITY DAILY PRODUCTION MANAGEMENT COMPANY LEFT BECAUSE WHEN GOODS ARE MADE WITH DIFFERENT SPECIFICATIONS PROCESSING TIMES VARY CONSIDERABLY, HINDERING MEASUREMENT OF CAPACITY OF MEETING THE DEMANDS OF NEW PRODUCTS.TO MAKE USE OF SIMULATION WAS WELL NEED TO UNDERSTAND THE PROCESS AND THEREFORE THESE HAD TO BE EVALUATED AND MAPPED. FOR THE CONSTRUCTION OF MODEL SIMULATION USED UP PACKAGE SIMULATION PROMODEL ®, WHICH INCLUDES A DATA ANALYSIS SOFTWARE STATFIT ®.YOU CAN CONCLUDE THAT THE RESULTS OBTAINED THROUGH THE SIMULATION ENABLED THE RESCUE THE ACQUISITION OF NEW FEATURES FOR FACTORY, IN VIEW OF AN INCREASE OF UP TO 94% ON YOUR DAILY PRODUCTION. IN ADDITION TO OTHER BENEFITS TO THE COMPANY, AS THE INCREASE OF CREDIBILITY WITH CLIENTS WITH A MORE RELIABLE FIRMED TERMS OF DELIVERY OF ORDERS AND GREATER USE OF EQUIPMENT INSTALLED TODAY.*

Keyword: *COMPUTER SIMULATION, PRODUCTION, PROCESSES MAPPING.*

1. Introdução

Com a descoberta de expressivas reservas de petróleo e gás, o Brasil obteve lugar de destaque entre as maiores reservas provadas do mundo. Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em seu anuário estatístico de 2012, que consolida dados referentes ao desempenho da indústria petrolífera até 2011, o Brasil possui uma reserva já provada de 15,1 bilhões de barris. Desse montante, 93,91% das reservas estão localizadas no mar e 6,09% estão localizadas em terra.

Neste cenário, a Bacia de Campos, que se estende do estado do Espírito Santo até o litoral norte do Estado do Rio de Janeiro, concentra 80,7% das reservas provadas de petróleo no Brasil, sendo o 100% dos seus poços *off-shore*. Cabe ressaltar que, em função da Bacia de Campos, a produção petrolífera brasileira tem aumentado nos últimos anos, sendo reconhecida até os dias atuais como a mais produtiva bacia do país e uma das maiores produtoras de petróleo de águas profundas do mundo.

Dentro desse cenário, a Petrobrás, tem requerido, cada vez mais, a participação de empresas de prestação de serviços, com competências técnicas na cadeia de Petróleo, Energia e Gás. Assim, além da Petrobras, maior exploradora do mundo em águas profundas, diversas empresas nacionais e multinacionais que trabalham na cadeia de petróleo e gás, possuem bases na região de Macaé, sendo por este motivo conhecida como a capital brasileira do petróleo.

Nos últimos anos, a Petrobras dentro de suas atividades tem demandado a inspeção, recuperação, conservação e aperto de elementos tubulares de aço usadas nas sondas de perfuração. Para atender esta demanda, atualmente a V&M do Brasil S.A. possui, além da sua usina siderúrgica localizada em Belo Horizonte – Minas Gerais, uma base de serviços localizada na Zona Especial de Negócios, na cidade de Rio das Ostras no estado do Rio de Janeiro. Essa base executa atividades relacionadas à inspeção, fabricação de acessórios e reparo de tubos voltados para a perfuração e completação de poços de exploração petrolífera, além da usinagem de conexões Premium VAM e API, conforme as necessidades dos clientes.

Porém, o aumento da demanda de acessórios de alta complexidade, gerada pela descoberta dos poços da camada pré-sal motivou e viabilizou a instalação de uma nova unidade produtiva na base de Rio das Ostras, a V&M Tube Alloy (VMTA) dedicada a fabricar acessórios para atender as necessidades pontuais dos clientes. A principal função desses acessórios é auxiliar na montagem da coluna de completação e de produção.

Assim, com o crescimento da demanda por acessórios, devido principalmente à exploração da camada pré-sal, a empresa vê-se na necessidade de mensurar e aumentar a produtividade da sua nova unidade de fabricação de acessórios.

Portanto, este novo cenário tem exigido dos gestores da empresa uma capacidade analítica cada vez mais desenvolvida e rápida na tomada de decisões. Assim, o uso de ferramentas e modelos para apoiar este processo decisório é importante de modo a obter soluções satisfatórias (PIDD, 1998).

Por outro lado, as soluções para problemas que envolvam produtividade devem ser voltadas para estudos que viabilizem o fluxo de processos, sem grandes alterações nas estruturas físicas já existentes. A Simulação Computacional é uma das formas de análise desse tipo de problema, pois, através dessa técnica é possível tomar decisões sem que seja necessário interferir no sistema em vigor.

Segundo Prado (2010), define-se a simulação como a representação virtual por meio de uma linguagem computacional de um sistema que se pretende estudar. Uma das grandes

vantagens da aplicação da simulação é que se pode analisar a resposta do modelo de acordo com alterações propostas, sem que as mesmas sejam implantadas, permitindo ao pesquisador testar diferentes hipóteses com custos mais baixos e sem riscos reais de erros.

Cabe ressaltar, que os modelos de simulação podem ser classificados como discretos ou contínuos. Nos modelos discretos, as variáveis de estado do sistema mantêm-se inalteradas ao longo de intervalos de tempo e mudam seus valores somente em pontos bem definidos, conhecidos como ocorrência de eventos; já nos modelos contínuos, as variáveis de estado podem mudar seus valores continuamente ao longo do tempo (Freitas, 2001).

Na simulação de eventos discretos, foco deste trabalho, também referenciada simplesmente como simulação, as variáveis de estado (produtos no sistema, produtos na fila, etc)_somente sofrem mudanças nos pontos discretos de tempo em que ocorrem eventos. Entende-se por eventos os acontecimentos, programados ou não, tais como a chegada de produtos, o inicio do processamento, a saída de produtos, entre outros.

Desta forma, este trabalho propõe o uso de um modelo da Simulação Computacional para auxiliar na identificação dos pontos críticos no processo de fabricação de acessórios do tipo *pup joint*, através da avaliação dos impactos em diferentes cenários produtivos. A ideia é que através desta ferramenta seja possível propor alternativas que ajudem aumentar sua produtividade, melhorar seus métodos de trabalho bem como aumentar o uso de máquinas e recursos disponíveis.

2. Descrição do Problema

Atualmente, a V & M do Brasil oferece tubos de aço sem costura, voltados para diferentes mercados, dentre os mais importantes estão:

- Indústria automotiva, onde são oferecidos tubos para rolamentos, eixos, sistemas de freio, injeção diesel, suspensão, juntas homocinéticas, cardans, barras de impacto, colunas de direção para automóveis. Além de eixos para caminhões, ônibus, caminhonetes e máquinas agrícolas;
- Construção civil, onde são oferecidos tubos de seção quadrada e circular utilizados em estruturas metálicas de diferentes empreendimentos, reduzindo o tempo e o custo das construções;
- Uso industrial em tubos de condução de gás, óleo, água e outros fluídos, tubos para caldeiras, trocadores de calor, superaquecedores, cilindros de alta pressão, revestimentos de linhas de transmissão de dados

Além dos mercados apresentados anteriormente, a empresa oferece soluções para o mercado petrolífero. Nesse segmento são oferecidos tubos de produção (*tubings*), revestimento de poços (*casings*), condução (*line pipes*) seguindo as normas API 5CT e 5L,além dos acessórios de alta complexidade, nos quais destaca-se o acessório *pup joint*, utilizado para atender necessidades pontuais dos projetos.

Esse acessório é fabricado com curtos segmentos tubulares de aço sem costura, atendendo a necessidade do projeto de determinado poço de exploração, pois são fabricados com comprimentos sob medida, ver Figura 1.

Nas extremidades destes acessórios são usinadas conexões especiais que permitem que tubos e acessórios sejam acoplados uns aos outros através de um sistema integrado de roscas, selos e ombros de torque, que garantem um melhor desempenho durante a aplicação.

Figura 1 - Acessórios *Pup Joints.*

Cabe ressaltar, que a fábrica de acessórios possui um contingente de 23 funcionários, podendo funcionar com dois ou três turnos de produção. O primeiro turno funcionando das 6 às 14 horas, o segundo das 14 às 22 horas e um possível terceiro turno funcionando das 22 às 06 horas. O galpão onde a fábrica está instalada possui 88 metros de comprimento e 23 metros de largura, como exibido na Figura 2.

Figura 2 - Layout da fábrica de acessórios.

A fábrica possui oito equipamentos principais, posicionados como mostrado na Figura 2. A movimentação dos tubos de um equipamento para o outro é feita através da utilização de pontes rolantes, consumindo muito tempo e reduzindo a produtividade da fábrica.

O produto é adquirido pelo cliente, entrando no plano de produção dessa fábrica. A seguir é possível observar todos os processos no qual o produto passa até ser liberado para envio ao cliente:

1) A extremidade do tubo é serrada em uma Serra Industrial Franho, que corta perpendicularmente um segmento que tenha uma conexão que foi reprovada pelo controle de qualidade ou que apresente algum dano mecânico que comprometa a utilização.
2) Se for necessário usinar uma conexão integral (casos onde será usinada uma conexão SLIJ-II), a extremidade do tubo serrada será comprimida ou expandida.

Essa operação é necessária para posteriormente usinar a conexão tanto na superfície externa quanto interna do tubo.

3) Devido ao processo de calibração, a extremidade do tubo é aquecida a aproximadamente 600º Celsius para reagrupar as moléculas do aço que sofreram esse esforço mecânico.
4) A conexão solicitada pelo cliente é usinada em um dos dois tornos de usinagem CNC da fábrica.
5) A conexão usinada é inspecionada por um inspetor de qualidade.
6) A conexão é fosfatizada através de imersão em um tanque, com a utilização de uma ponte rolante exclusiva para esse processo.
7) A superfície externa do tubo é pintada por um operador com uma pistola de tinta dentro da cabine de pintura.
8) Em alguns casos o cliente solicita que seja acoplada uma luva conectora ao acessório na própria fábrica. A máquina de aperto que é responsável pelo torque especificado no projeto de cada produto:

Como a gama de graus de aço, conexões e diâmetros é vasta neste tipo de acessório, este projeto focará nas especificações mais demandadas historicamente. Para isso, foi avaliada a demanda nos últimos seis meses da gama de conexões, diâmetros e graus proprietários de aço. A Tabela 1 mostra todos os produtos que serão considerados neste projeto.

Tabela 1 - Diferenciação entre os produtos analisados.

	Diâmetro	Conexão	Aço
Produto 1	10 3/4''	VAM TOP	VM 110
Produto 2	10 3/4''	NEW VAM	VM 110
Produto 3	10 3/4''	VAM SLIJ II	VM 110
Produto 4	9 5/8''	VAM TOP	VM 110
Produto 5	9 5/8''	NEW VAM	VM 110
Produto 6	9 5/8''	VAM SLIJ II	VM 110
Produto 7	13 3/8''	VAM TOP	VM 110
Produto 8	13 3/8''	NEW VAM	VM 110
Produto 9	13 3/8''	VAM SLIJ II	VM 110
Produto 10	10 3/4''	VAM TOP	VM 125
Produto 11	10 3/4''	NEW VAM	VM 125
Produto 12	10 3/4''	VAM SLIJ II	VM 125
Produto 13	9 5/8''	VAM TOP	VM 125
Produto 14	9 5/8''	NEW VAM	VM 125
Produto 15	9 5/8''	VAM SLIJ II	VM 125
Produto 16	13 3/8''	VAM TOP	VM 125
Produto 17	13 3/8''	NEW VAM	VM 125
Produto 18	13 3/8''	VAM SLIJ II	VM 125

3. Metodologia

O processo de simulação segue o método científico, ou seja, formula as hipóteses, prepara o experimento, testa as hipóteses através do experimento e valida as hipóteses através dos resultados obtidos. Chwif & Medina (2010) apontam que para ter um estudo de simulação bem sucedido, alguns passos devem ser seguidos:

1. Concepção ou formulação do modelo: Deve-se entender claramente o sistema a ser simulado e seus objetivos; Coletar dos dados de entrada; Criar um modelo conceitual.
2. Implementação do modelo: Conversão do conceitual para computacional; Comparação do modelo computacional com conceitual para avaliar se a operação atende ao que foi estabelecido na etapa de concepção.
3. Análise dos resultados do modelo: Realização das rodadas do modelo; Análise e documentação dos resultados.

Dado que o objetivo é mensurar a produtividade e buscar oportunidades de melhorias para aumentá-la, problemas como de logística externa, oscilações na demanda dentre outros problemas externos foram ignorados. Assim, os dados de chegada das especificações dos pedidos seguem as proporções de demanda dos últimos 6 meses na fábrica, como indicado na Tabela 1.

Para a coleta dos dados de processamento foram feitas entrevistas com especialistas para avaliar quais dos parâmetros (grau do aço, conexão e diâmetro) influenciam nos tempos de processamento para cada um dos equipamentos da fábrica.

Após a coleta dos dados, foi dado início ao tratamento dos mesmos usando a Estatística Descritiva, de forma a extrair as medidas de posição e de dispersão. Depois desse estudo preliminar dos dados, foi possível analisar, identificar e retirar, se fosse o caso, a ocorrência de *outliers*. O próximo passo foi analisar se a amostra em estudo representa uma sequência de valores independentes, ou seja, se não existia correlações entre as observações que compõem a amostra. Por fim, passou-se a identificação de uma distribuição de probabilidade que representasse o fenômeno em estudo. Segundo Prado (2010), para descobrir qual distribuição melhor se adapta aos dados coletados, deve-se submetê-los ao teste de aderência, para isto foi utilizado a ferramenta do PROMODEL chamada de *Stat-fit*.

O software utilizado foi o PROMODEL devido à sua facilidade de acesso e vasta opção de recursos, pois o programa permite, além da construção do modelo de simulação, analisar não só os dados de entrada (através do módulo *Stat-fit*), como também os de saída.

4. Concepção do Modelo

Para que fosse possível entender o processo, foi realizado o mapeamento dos processos da produção dos *pup joints*, desde o momento que é recebido o pedido até o momento que é finalizado sua produção. Através deste mapeamento foi possível identificar o fluxo de informações, recursos e a geração das filas.

Assim, após os processos serem mapeados e suas interações explicitadas, foi possível iniciar a criação do Modelo Conceitual utilizando a metodologia do IDEF-SIM (ver Figura 3), proposta por Montevechi et al (2010).

A validação do modelo conceitual deu-se através da apresentação do modelo ao gerente da empresa, e após alguns pontos serem revisados o modelo foi validado. Cabe ressaltar, que a construção do modelo conceitual permitiu definir os pontos de coleta de dados, além de agilizar o processo de elaboração do modelo computacional.

Os dados de chegada das especificações dos pedidos seguem as proporções de demanda dos últimos 6 meses na fábrica, como mencionado anteriormente. A Tabela 2 mostra a diferenciação entre as especificações analisadas e suas respectivas incidências, excluindo a probabilidade de ocorrência das especificações não analisadas neste projeto.

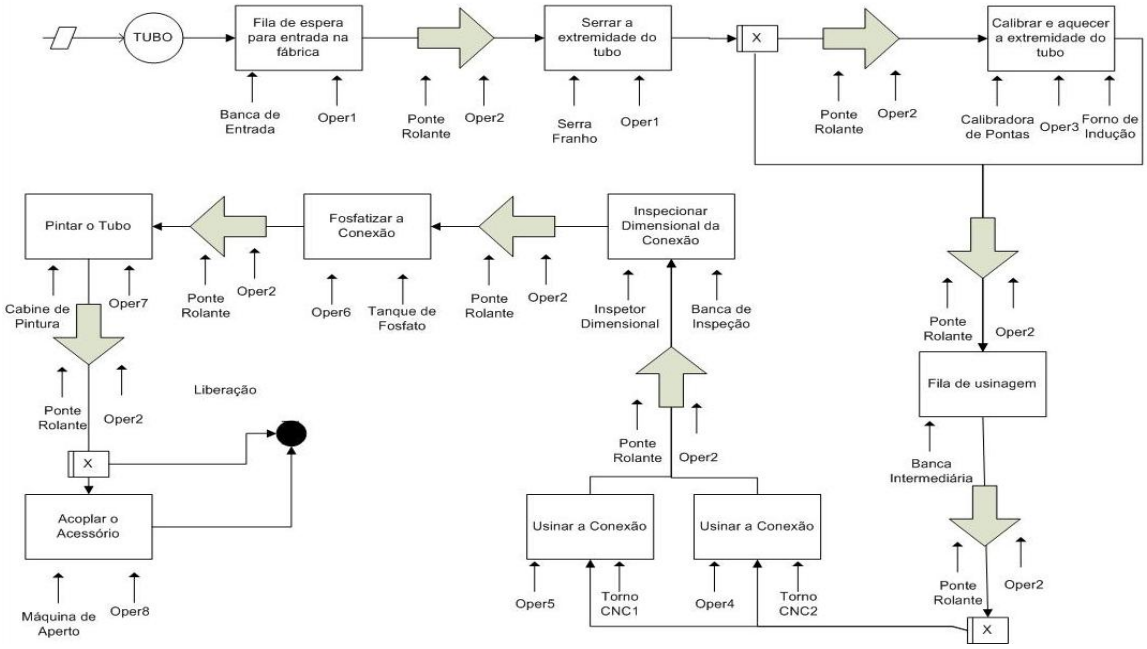

Figura 3 – Mapeamento do fluxo de produção - IDEF-SIM.

Tabela 2 - Especificações dos pedidos que originam os dados de chegada.

Produto	Diâmetro	Conexão	Nomeclatura do aço	Probabilidade da demanda desse produto
Produto1	10 3/4''	VAM TOP	VM 110	12,89%
Produto2	10 3/4''	NEW VAM	VM 110	5,20%
Produto3	10 3/4''	VAM SLIJ-II	VM 110	4,52%
Produto4	9 5/8''	VAM TOP	VM 110	12,23%
Produto5	9 5/8''	NEW VAM	VM 110	4,94%
Produto6	9 5/8''	VAM SLIJ-II	VM 110	4,29%
Produto7	13 3/8''	VAM TOP	VM 110	7,93%
Produto8	13 3/8''	NEW VAM	VM 110	3,20%
Produto9	13 3/8''	VAM SLIJ-II	VM 110	2,78%
Produto10	10 3/4''	VAM TOP	VM 125	9,34%
Produto11	10 3/4''	NEW VAM	VM 125	3,77%
Produto12	10 3/4''	VAM SLIJ-II	VM 125	3,28%
Produto13	9 5/8''	VAM TOP	VM 125	8,86%
Produto14	9 5/8''	NEW VAM	VM 125	3,57%
Produto15	9 5/8''	VAM SLIJ-II	VM 125	3,11%
Produto16	13 3/8''	VAM TOP	VM 125	5,75%
Produto17	13 3/8''	NEW VAM	VM 125	2,32%
Produto18	13 3/8''	VAM SLIJ-II	VM 125	2,02%

Na coleta dos dados de processamento foram levadas em conta os parâmetros que influencia no tempo de processamento (grau do aço, conexão e diâmetro). A Tabela 3 descreve a distribuição de probabilidade que se adapta, mais precisamente, a amostra dos dados coletados após o tratamento dos mesmos. São descritos cada processo analisado, os parâmetros que provocam variação no tempo de processamento e a distribuição que melhor se adaptou a respectiva amostra.

Tabela 3 – Distribuições dos tempos de processamento para cada equipamento.

Equipamento	Diâmetro (polegadas)	Conexão	Nomeclatura do aço	Distribuição
Serra	9 5/8"	Não interfere	VM 110	Normal(17.3, 3.82)
Serra	9 5/8"	Não interfere	VM 125	Normal(19, 3.23)
Serra	10 3/4"	Não interfere	VM 110	LogNormal(8.78, 2.6, 0.569)
Serra	13 3/8"	Não interfere	VM 125	Normal(23.4, 4.00)
Calibradora	9 5/8"	Não interfere	VM 110	Normal(17.1, 1.66)
Calibradora	9 5/8"	Não interfere	VM 125	Normal(21.7, 2.05)
Calibradora	10 3/4"	Não interfere	VM 125	Lognormal(4.36, 2.88, 0.221)
Calibradora	13 3/8"	Não interfere	VM 125	Normal(31.6, 1.99)
Torno	9 5/8"	VAM TOP	Não interfere	Lognormal(11.2, 2.62, 0.302)
Torno	9 5/8"	VAM SLIJ-II	Não interfere	Normal(42.3, 5.61)
Torno	10 3/4"	VAM SLIJ-II	Não interfere	Normal(45., 6.31)
Torno	13 3/8"	VAM SLIJ-II	Não interfere	Normal(46.9, 5.51)
Inspecção	Não interfere	VAM TOP	Não interfere	Normal(22.7, 3.55)
Inspecção	Não interfere	NEW VAM	Não interfere	Normal(23.4, 4.0)
Inspecção	Não interfere	VAM SLIJ-II	Não interfere	Lognormal(29.1, 2.22, 0.471)
Tanque de Fosfato	9 5/8"	Não interfere	Não interfere	Normal(28.6, 8.01)
Tanque de Fosfato	10 3/4"	Não interfere	Não interfere	Normal(29.7,1.52)
Tanque de Fosfato	13 3/8"	Não interfere	Não interfere	Exponencial(23., 8.95)
Pintura	9 5/8"	Não interfere	Não interfere	Exponencial(17., 9.13)
Pintura	10 3/4"	Não interfere	Não interfere	Normal(27.4, 5.04)
Pintura	13 3/8"	Não interfere	Não interfere	Normal(28.5, 6.92)
Aperto	9 5/8"	VAM TOP	Não interfere	Normal(20.6, 5.66)
Aperto	10 3/4"	VAM TOP	Não interfere	Normal(20.9,6.31)
Aperto	13 3/8"	VAM TOP	Não interfere	Normal(21.1, 4.17)

4. Implementação Computacional e Verificação

Nesta seção será mostrado a conversão do modelo conceitual no modelo computacional, com o intuito de analisar a produtividade da fábrica de acessórios VMTA no cenário atual, e posteriormente, propor possíveis pontos de melhoria. O software de simulação utilizado foi o ProModel 7.5, na sua versão gratuita oferecida exclusivamente para estudantes.

Como a produção da fábrica é retomada a cada dia e os seus produtos em processo aguardam o início de cada turno para retomar o fluxo produtivo, foi necessário considerar um tempo de aquecimento para cada rodada de simulação, com o intuito de garantir uma acuracidade maior ao modelo computacional frente ao real. Assim, o período de aquecimento foi de no mínimo 7 horas corridas de simulação, a partir do início da simulação.

4.1 Número de replicações

A replicação do modelo consiste na geração de rodadas utilizando a modelagem computacional desenvolvida. Quanto maior a quantidade de réplicas do modelo, maior será a precisão dos resultados gerados por esse modelo. Isso se deve ao fato da simulação utilizar a geração de números aleatórios para desenvolver os resultados, podendo existir algumas variações.

Para auxiliar na definição do número de replicações necessárias para o modelo foi utilizado a ferramenta específica do *software StatFit.* Para uma simulação dos dados coletados com intervalo de confiança de 95% é necessário replicar o modelo por pelo menos 7 vezes. Como o esforço computacional do modelo analisado é baixo, foram realizadas 50 replicações do modelo para garantir uma confiabilidade maior que 95%.

4.2 Definição dos recursos e as entidades

Inicialmente, foram definidos como recursos os equipamentos agregadores de valor ao produto, com suas respectivas capacidades de operação, quantidade disponível na fábrica e no caso dos tornos CNC, os tempos de *Setup* dos mesmos. A Figura 4 abaixo mostra a interface do software onde foram inseridas as informações pertinentes aos recursos.

Locais

Ícone	Nome	Cap.	Unidade	Paradas...	Estatísticas
	Entrada	INF	1	Nenhuma	Série de Tempo
	Serra	1	1	Nenhuma	Série de Tempo
	Calibradora_de_pontas	1	1	Nenhuma	Série de Tempo
	Torno_1	1	2	Setup,	Série de Tempo
	Torno_1.1	1	1	Setup,	Série de Tempo
	Torno_1.2	1	1	Setup,	Série de Tempo
	Banca_de_inspecao	1	1	Nenhuma	Série de Tempo
	Banho_de_fosfato	1	1	Nenhuma	Série de Tempo
	Aperto_mecanico	1	1	Nenhuma	Série de Tempo
	Cabine_de_pintura	1	1	Nenhuma	Série de Tempo

Figura 4 – Mapeamento do fluxo de produção - IDEF-SIM.

Em seguida, os *Pup Joints* foram definidos como entidades, onde os parâmetros são os fatores que os diferenciam uns com outros. Na chegada da demanda do cliente, as especificações são definidas seguindo o histórico dos últimos 6 meses de demanda à base.

4.3 Definição das redes de caminho

Para simular os tempos de transporte dos *pup joints* foi necessário definir as redes de caminho onde a ponte rolante segue para levar o produto de um local para o seguinte local do sistema. A distância de um equipamento para o outro foi medida de modo a proporcionar maior confiabilidade aos tempos necessários para transportar os produtos.

É importante ressaltar, que o recurso utilizado no transporte foi a ponte rolante. Esse recurso utiliza as rotas descritas nas redes de caminho. Foram definidos os seguintes parâmetros para esse recurso:

- Velocidade de movimentação vazio: 10 metros/minutos;
- Velocidade de movimentação com produto: 5 metros/metros;
- Tempo para pegar/dispor produto: 180 segundos.

A definição desses tempos passou por um processo de análise do processo de movimentação, e foi validado por 3 diferentes operadores da ponte rolante.

4.4 Definição do processamento do produto

Na definição do processamento do produto são inseridos todos os locais onde o produto deverá passar na sua fabricação, todos os tempos de processamento (utilizando as distribuições obtidas na análise dos dados) e o encadeamento do fluxo que o produto passará. Também foi inserido o recurso que transportará o produto, que nesse caso é a ponte rolante.

A Figura 5 ilustra a interface do *software* para definição do processamento do produto.

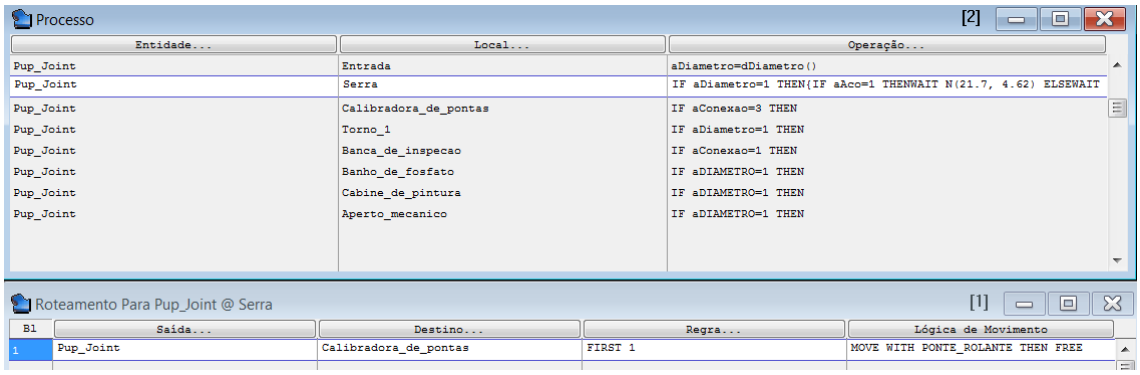

Figura 5 – Tela da definição do processo no ProModel 7.5.

4.5 Análise do cenário atual

A Figura 6 mostra a implementação computacional do processo como um todo.

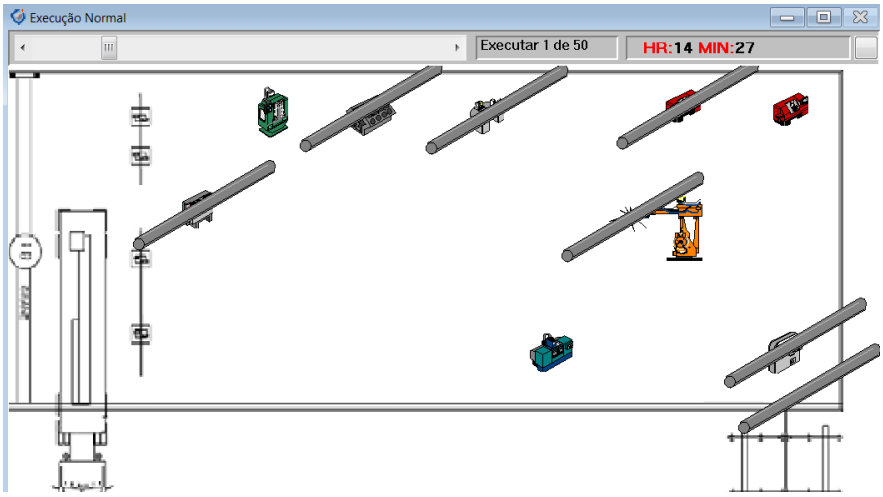

Figura 6 - Tela de simulação da fábrica VMTA.

Os resultados do cenário atual foram analisados levando em consideração a utilização do recurso de transporte ponte rolante e a taxa de operação dos equipamentos (o porcentual do tempo que o equipamento esta agregando valor aos produtos), considerando um período de 24 horas com 3 turnos de produção.

Por questões de segurança, os tubos devem ser transportados de um equipamento diretamente para outro, não podendo aguardar em uma bancada móvel, por exemplo. Por isso, o recurso de transporte que é a ponte rolante mostrou uma altíssima taxa de ocupação. Na Tabela 4 podemos observar a porcentagem do tempo em que a ponte estava efetivamente transportando um tubo, o tempo em que ela estava se locomovendo para buscar um tubo e o tempo em que estava ociosa.

Tabela 4 - Utilização da Ponte Rolante no Cenário Inicial.

	Porcentagem do tempo:		
Recurso	Transportando um tubo	Locomovendo para buscar um tubo	Ocioso
Ponte Rolante	64,43	34,48	1,09

Analisando a Tabela 4 podemos concluir que a ponte rolante é um recurso sobrecarregado, o que o torna um gargalo.

Agora, iremos analisar a taxa de operação dos equipamentos. Essa taxa é a proporção do tempo que o equipamento esta agregando valor frente ao tempo total de produção.

Tabela 5 – Proporção do tempo de utilização dos equipamentos da fábrica.

Local	Porcentagem do tempo em Operação
Serra Franho	19,28
Calibradora da Extremidades	4,37
Torno CNC 1	21,69
Torno CNC 2	23,71
Banca de Inspeção	22,48
Tanque de Fosfato	33,02
Cabine de Pintura	32,33
Aperto Mecânico	26,55

A tabela acima mostra a taxa de operação de cada equipamento da fábrica. A Calibradora de Extremidades apresenta a menor taxa de operação. Isso se deve ao fato de só ser utilizado nos casos que o produto terá uma conexão SLIJ-II usinada em sua extremidade.

4.6 Verificação

Após a execução do modelo computacional, que busca de maneira simplificada retratar o cenário atual, foram comparados os resultados desta simulação com os dados levantados pela coleta realizada. Com base nos dados gerados como resultado do modelo de simulação foi possível verificar a aderência destes com a realidade.

5. Cenários Alternativos

5.1 Cenário A

Analisando o cenário atual dos processos e recursos produtivos da fábrica ficou claro que o recurso de transporte está muito sobrecarregado com uma taxa de ocupação de 98,81%. Por isso, a proposta do cenário A seria a inclusão de mais uma ponte rolante na fábrica. Assim, a fábrica seria divida em dois segmentos de mesmo tamanho e cada ponte atenderia as rotas de seu respectivo segmento, ver Figura 7. Essa mudança não gera melhoria no tempo de processamento dos equipamentos, mas diminui drasticamente o tempo perdido por movimentar os tubos, e consequentemente, aumenta a taxa de operação de todos os equipamentos e a produtividade da fábrica.

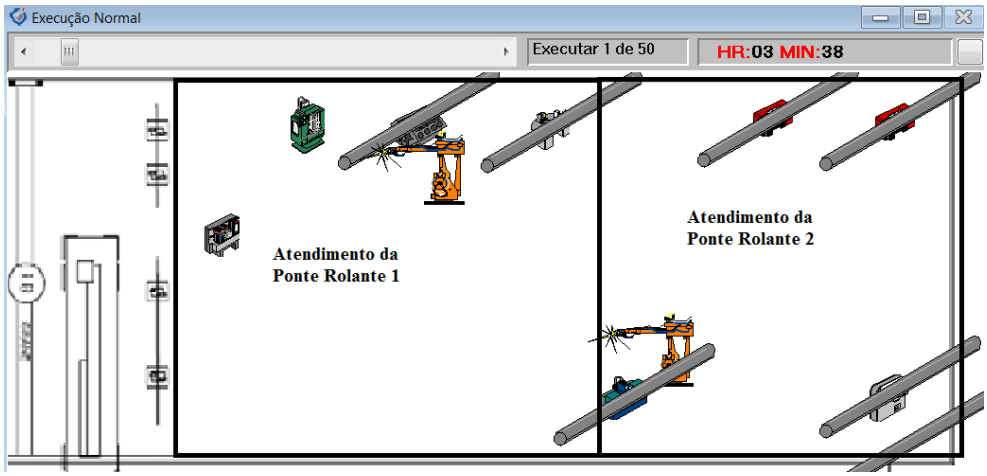

Figura 7 – Divisão da fábrica para atendimento das pontes rolantes.

Nessa novo cenário a utilização do recurso ponte rolante segue a Tabela 6.

Tabela 6 - Utilização das Pontes Rolantes no Cenário A.

	Porcentagem do tempo:		
Recurso	Transportando um tubo	Locomovendo para buscar um tubo	Ocioso
Ponte Rolante 1	44,43	41,35	14,22
Ponte Rolante 2	41,82	36,02	22,16

Com essa melhoria na movimentação dos tubos, a taxa de operação dos equipamentos também foi alterada. Essa mudança representa o aumento gerado pelo melhor atendimento aos locais de produção, que podem realizar tarefas que agregam valor ao produto por mais tempo que no cenário atual. A Tabela 7 mostra o aumento da taxa de produtividade dos equipamentos no cenário A.

Tabela 7 – Comparação entre a taxa de operação dos equipamentos - Cenário Inicial e Cenário A.

	Cenário Inicial	Cenário A	Comparação entre cenários
Local	Taxa de operação		Variação na taxa de operação
Serra Franho	19,28	25,76	33,61%
Calibradora da extremidade	4,37	6,18	41,47%
Torno CNC 1	21,69	30,66	41,34%
Torno CNC 2	23,71	30,27	27,66%
Banca de Inspeção	22,48	30,32	34,88%
Tanque de Fosfato	33,02	46,17	39,83%
Cabine de Pintura	32,33	42,39	31,11%
Aperto Mecânico	26,55	35,38	33,26%

Analisando a produção da fábrica no cenário A nota-se um aumento na produtividade da fábrica em 33,65%.

5.2 Cenário B

Uma alternativa a inclusão de mais uma ponte rolante seria aumentar a capacidade do recurso onde há uma maior fila, mesmo que virtual. O recurso identificado como gargalo seria o tanque de fosfato. A capacidade desse local foi alterada de um *pup joint* para dois simultaneamente.

5.3 Cenário C

Neste cenário C foi simulado a inclusão de uma ponte rolante e um aumento na capacidade do tanque de fosfato para dois tubos simultaneamente. Assim, o cenário C é na realidade a soma dos cenários A e B.

5.4 Cenário D

Este cenário tem como base o cenário C mais a inclusão de dois locais produtivos, um inspetor dimensional e uma cabine de pintura. Essas alterações são consideradas muito mais

simples, tendo em vista que dependem apenas da contratação de pessoal e expansão de bancadas móveis que são ativos de baixo valor para projetos dessa magnitude.

5.4 Comparação entre os cenários simulados

Neste trabalho podemos constatar que o gargalo de produção atual da fábrica de acessórios é a movimentação dos *pup joints* de um equipamento para outro. A aquisição de uma ponte rolante implica em um investimento alto, mas como podemos observar nos cenários simulados também proporciona um aumento notável na produção. A duplicação da capacidade de alguns equipamentos demandam um investimento considerado baixo e também alavancam a produção consideravelmente.

As mudanças de cada cenário e sua produção estão resumidas na tabela a seguir:

Tabela 8 – Comparativo da produção dos cenários simulados.

Produção da fábrica VMTA	Cenário Atual	Cenário A	Cenário B	Cenário C	Cenário D
Quantidade de Pup Joints	26,62	35,58	26,93	40,34	52,02
Variação na produção	-	33,66%	1,16%	51,54%	95,42%

6. Conclusões

Este projeto teve como principal objetivo desenvolver um modelo computacional capaz de simular a operação de uma fábrica recém inaugurada na base de serviços da V&M do Brasil na cidade de Rio das Ostras.

Todo o processo de fabricação do acessório *Pup Joint* foi mapeado utilizando a metodologia IDEF-SIM. Foram levantados os tempos de processamento de cada equipamento, além do tempo médio de deslocamento dos produtos de um equipamento para o próximo no fluxo produtivo. O modelo computacional foi desenvolvido utilizando o software de simulação *ProModel* 7.5.

Com isso foi possível entregar resultados quantitativos quanto à capacidade de produção atual da fábrica, dando subsídios para a gerência elaborar propostas de venda de produtos para os clientes com uma maior confiabilidade. Além disso, foram propostas diferentes melhorias na alocação dos recursos da produção para reduzir os tempos de processamentos dos recursos que eram os gargalos da produção. Cada alteração foi testada em um diferente cenário, entregando para a Gestão Estratégica da empresa diferentes alternativas para alavancar a produção da fábrica.

Referências

CHWIF, L., & MEDINA, A. C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos - Teoria e Aplicação (3ª ed.). São Paulo: Editora do Autor, 2010.

FREITAS, P.J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas. Ed. 1, Santa Catarina. Visual Books, 2001.

MONTEVECHI, J. A. B.;et al. *Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company.* In: Winter Simulation Conference, Proceedings. Baltimore, MD, USA, 2010.

PIDD, M. *Modelagem Empresarial: Ferramentas para tomada de decisão*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

PRADO, D. S. Usando o Arena em Simulação, Série Pesquisa Operacional - Volume 3. 4ª ed Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2010.