



DESENVOLVIMENTO DE ROTEIROS DE PROCESSO COM MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS EM BANCO SQL

Guilherme Giombeli Onzi, engmec.onzi@gmail.com¹

Daniela Lupinacci Villanova, daniela.villanova@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785, Bairro Cinquentenário, CEP 95180-000, Farroupilha – RS.¹

Resumo: Na indústria de manufatura, roteiros de processo são a maneira ideal de definir e monitorar o fluxo produtivo de um item fabricado. Estes documentos de engenharia, definem as etapas do processo pelas quais o produto deverá passar, o tempo das operações respectivas, a alocação dos recursos utilizados durante sua confecção e são bases para a mensuração da produtividade de uma linha, posto e/ou processo de fabricação. Entretanto, para que o roteiro cumpra seu propósito fundamental é crucial que o mesmo seja elaborado de modo a refletir da melhor maneira possível o processo executado para que não hajam falhas no sequenciamento, balanceamento, disponibilidade e controle do processo. Para o contexto desse artigo, o projeto realizado em uma empresa de montagem de produtos hidráulicos, detectou a falha na elaboração que gerava erros graves no referido controle. A existência de roteiros que não possuíam confiabilidade suficiente, requisitou deste trabalho a necessidade de corrigir estes erros. Para tal, será demonstrado como a um banco de dados já existente foi peça-chave para corrigir a falha supracitada. Com a extração de mais de dois milhões de dados da base alimentada minuto-a-minuto pelos dispositivos que compõem o MES (Manufacturing Execution Systems) de uma linha de montagem de itens de hidráulica de alta pressão utilizados especialmente no ramo agrícola, foi possível criar 15 novos roteiros de produção fidedignos ao processo em que se propõem representar, trazendo acuracidade aos propósitos destes documentos. Para a criação os dados foram filtrados através de uma distribuição normal, rejeitando possíveis inconsistências e corrupções na fonte e por fim, após seis meses, analisados novamente comprovando a eficiência do projeto executado.

Palavras-chave: roteiros de processo, análise dados, controle produtivo, indústria de manufatura

1. INTRODUÇÃO

A partir de meados dos anos 2000, a indústria tem testemunhado uma transformação significativa impulsionada pelos avanços tecnológicos e digitais. A digitalização tem se mostrado um exemplo bem-sucedido no âmbito empresarial, com inúmeros casos demonstrando seus benefícios. Um exemplo notável é a Nike, que utilizou recursos digitais para aprimorar sua visibilidade, desempenho, eficiência e responsabilidade social corporativa em sua cadeia de suprimentos global (Westerman, Bonnet, & McAfee, 2014).

Dentre os diversos aspectos da digitalização, a crescente adoção da análise de dados desponta como um dos mais impactantes para aumentar a qualidade e competitividade das operações de fabricação. No contexto da competitividade, um elemento-chave é o uso dos roteiros de produção, que desempenham um papel fundamental no controle e otimização dos processos de manufatura.

Os roteiros de produção consistem em guias detalhados que descrevem todas as etapas que devem ser seguidas na fabricação de um produto, desde a aquisição de matérias-primas até a entrega do produto final. Esses roteiros estabelecem a abordagem mais eficiente para a fabricação de componentes, subconjuntos e montagens dos diversos produtos finais da organização (Russomano, 1976).

Ao fornecer instruções precisas e sequenciais para os operadores de máquinas, os roteiros de produção definem as atividades necessárias, os recursos requeridos e os tempos estimados para cada etapa do processo. Além disso, eles identificam os pontos críticos do processo que podem impactar a qualidade, produtividade ou prazos de entrega. Essas informações permitem que as empresas implementem medidas corretivas e preventivas para melhorar a eficiência global.

A análise de dados desempenha um papel crucial nos roteiros de produção, permitindo a identificação de padrões de desempenho ao longo do tempo, a previsão de demandas futuras, a alocação eficiente de recursos e a antecipação de problemas potenciais. Ao combinar a análise de dados com os roteiros de produção, as empresas podem alcançar benefícios significativos, como a redução de custos operacionais, o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos e a maior agilidade para atender às demandas do mercado. Além disso, a análise de dados dos roteiros de

produção também pode fornecer insights valiosos para impulsionar a inovação e o desenvolvimento de novos produtos, identificando oportunidades de melhoria nos processos existentes.

No entanto, é importante ressaltar que a implementação bem-sucedida da análise de dados nos roteiros de produção requer a disponibilidade e qualidade dos dados coletados. A qualidade do dado inserido e a estabilidade dos bancos de dados são cruciais para a execução adequada dos algoritmos e a obtenção de resultados confiáveis. Pippin e Vandenbosch (2017) demonstraram como a execução de um algoritmo é influenciada pela qualidade do dado inputado e como eles são afetados severamente por bancos instáveis. Estes ainda mencionam que os bancos de dados devem ser robustos ou, no mínimo, serem equipados com métodos para limitar os efeitos do corrompimento durante a análise. Portanto, a integração de sistemas e dispositivos inteligentes, juntamente com a adoção de tecnologias de captura de dados em tempo real, torna-se essencial para obter informações atualizadas e confiáveis.

Este artigo tem como objetivo discutir a importância da análise de dados na indústria de manufatura, enfatizando o papel crucial dos roteiros de produção na melhoria da eficiência e qualidade dos controles de processos de fabricação. Será explorada a aplicação da análise de dados no contexto dos roteiros de produção, durante um estudo de caso prático, permitindo uma melhor compreensão de como esse estudo pode ser aplicado na elaboração e refinamento de roteiros de produção, resultando em maior capacidade dos métodos de monitoramento e maior eficiência na execução das tarefas. Ao final, espera-se que a combinação efetiva da análise de dados com os roteiros de produção possa trazer benefícios significativos para a empresa em questão.

2. DESCRIÇÃO DO ESTADO INICIAL E EXECUÇÃO

Dentro de uma indústria do ramo de fabricação de bombas e motores hidráulicos, haviam somente dois roteiros produtivos ativos, um para cada família de produtos. Fora então detectado que estes dois roteiros não representavam o processo executado na linha de montagem. Para contornar a situação um fator de conversão era necessário para que os tempos fossem corrigidos e houvesse uma maior acuracidade no controle da produtividade. Ainda assim, esse parâmetro de conversão não cobria as diferenças entre os objetos manufaturados.

Determinada a necessidade de solução do problema, entendeu-se que o melhor caminho seria definir novamente os tempos de produção, aumentando o número de roteiros de modo que o processo fosse representado de maneira adequada e, ainda, fosse possível mensurar a produtividade através dos mesmos. Com a problemática definida, dois caminhos foram levantados como possibilidade para a resolução: realizar cronoanálise de todos os códigos de produto durante as operações de montagem destes, ou, então, utilizar a base de dados coletadas nas estações de trabalho pelo sensoriamento contido no MES (*Manufacturing Execution Systems*).

2.1. Matriz de Decisão

Para a tomada de decisão, elaborou-se uma matriz de decisão. Essa ferramenta analítica auxilia na tomada de decisões complexas, fornecendo uma estrutura sistemática para avaliar e comparar várias opções com base em critérios estabelecidos. É uma representação visual que organiza informações relevantes de forma clara e concisa, permitindo uma análise mais objetiva e fundamentada. De acordo com Jacquet-Lagreze (2001), Em essência, a tarefa consiste em avaliar e ordenar um conjunto restrito de alternativas, que são claramente definidas, com base em um conjunto limitado de critérios. Esses critérios são levados em consideração de forma simultânea, embora possam entrar em conflito uns com os outros em determinadas situações.

A matriz de decisão é composta por duas partes principais: as opções ou alternativas a serem consideradas e os critérios que serão utilizados para avaliar essas opções. Cada opção é listada em linhas, enquanto os critérios são apresentados em colunas. Os critérios podem variar dependendo do contexto da decisão e podem incluir aspectos como custo, qualidade, tempo, impacto ambiental, risco, entre outros.

Uma vez que a matriz de decisão esteja estruturada, é atribuído um peso para cada critério, refletindo sua importância relativa na tomada de decisão. Esses pesos são normalmente determinados através de discussões e negociações entre os envolvidos no processo decisório. Posteriormente, cada opção é avaliada em relação a cada critério, utilizando escalas de pontuação ou outras medidas apropriadas.

Ao preencher a matriz com as pontuações correspondentes, é possível calcular um valor agregado para cada opção, multiplicando as pontuações pelos pesos atribuídos aos critérios. Somando esses valores agregados para cada opção, obtém-se uma pontuação total que indica a preferência relativa de cada alternativa.

A matriz de decisão permite uma visualização clara das opções e uma comparação objetiva entre elas, facilitando o processo de escolha. Além disso, ela proporciona transparência e justificativa racional para a decisão tomada, uma vez que os critérios e pesos foram previamente estabelecidos.

Utilizando um modelo pré-definido na empresa em questão, os seguintes critérios foram utilizados para decisão:

Passo 1: Identificação dos critérios relevantes:

Complexidade do problema a ser resolvido
Disponibilidade de material

Tendências e padrões
 Recursos necessários (tempo, habilidades, ferramentas)
 Análise de ishikawa
 Abrangência da utilização

Passo 2: Atribuição de pesos aos critérios:

Definiu-se uma pontuação de importância para cada critério em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa baixa importância e 5 representa alta importância. Esses pesos devem refletir a relevância de cada critério para a sua situação específica.

Complexidade do problema a ser resolvido: 5
 Disponibilidade de material: 3
 Tendências e padrões: 2
 Recursos necessários (tempo, habilidades, ferramentas): 4
 Análise de ishikawa: 2
 Abrangência da utilização: 3

Passo 3: Listagem das opções:

Análise de dados
 Cronoanálise

Passo 4: Avaliação dos critérios:

Avaliou-se cada opção em uma escala de 1 a 5, onde 1 representa baixo desempenho e 5 representa alto desempenho, com base em como cada opção atende aos critérios identificados.

Análise de Dados:
 Complexidade do problema a ser resolvido: 5
 Disponibilidade de material: 5
 Tendências e padrões: 2
 Recursos necessários (tempo, habilidades, ferramentas): 5
 Análise de ishikawa: 4
 Abrangência da utilização: 5

Cronoanálise:
 Complexidade do problema a ser resolvido: 5
 Disponibilidade de material: 3
 Tendências e padrões: 4
 Recursos necessários (tempo, habilidades, ferramentas): 1
 Análise de ishikawa: 4
 Abrangência da utilização: 2

Passo 5: Cálculo das pontuações ponderadas:

Multiplicou-se a pontuação de cada critério pelo peso atribuído a ele. Em seguida, soma as pontuações ponderadas para cada opção. Por exemplo:

Análise de Dados: 87
 Cronoanálise: 60

Tabela 1. Índices de pontuação da matriz de decisão

DESCRIÇÃO	PESO	CRONOANÁLISE	ANÁLISE DE DADOS
COMPLEXIDADE DO PROBLEMA	5	5	5
DISPONIBILIDADE DE MATERIAL	3	3	5
TENDÊNCIAS E PADRÕES	2	4	2
RECURSOS NECESSÁRIOS	4	1	5
ANÁLISE ISHIKAWA	2	4	4
ABRANGÊNCIA DA UTILIZAÇÃO	3	2	5
RESULTADO		60	87

Passo 6: Decisão

Com base nas pontuações calculadas, escolheu-se a opção com a pontuação mais alta. No exemplo acima, a cronanálise obteve melhor índice.

2.2. Fonte da Análise

Tendo em mãos a decisão de utilizar a base de dados existentes, foi necessário entender com que tipo de dados lidaríamos, como estes foram obtidos, e as possíveis falhas que seriam encontradas no(s) arquivo(s).

2.2.1. Natureza dos Dados

Os bancos de dados SQL (*Structured Query Language*, ou Linguagem de Consulta Estruturada) são sistemas de gerenciamento de bancos de dados relacionais que utilizam a linguagem SQL como interface para a manipulação e recuperação de dados. Essa linguagem permite aos usuários definir, manipular e consultar os dados de forma eficiente e flexível, seguindo um conjunto de padrões e regras bem definidos. Esses bancos de dados organizam os dados em tabelas, onde cada tabela consiste em linhas (registros) e colunas (atributos), facilitando a estruturação e a consulta dos dados armazenados. Quando comparamos a linguagem SQL com outras, Garcia-Molina (2008) diz que Algumas linhas de SQL podem fazer o trabalho de milhares de linhas de C ou centenas de linhas de código que precisam ser escritas para acessar dados em modelos anteriores, como rede ou hierárquico. Como definição temos, segundo Elmasri e Navathe (2005), a linguagem SQL é um padrão de consulta de banco de dados que utiliza uma combinação de construtores da Álgebra Relacional e do Cálculo Relacional.

Além disso, esse tipo de estrutura possui várias características distintivas que os tornam amplamente utilizados em diferentes domínios científicos. A primeira é a capacidade de armazenar e recuperar grandes quantidades de dados de forma eficiente, utilizando índices e otimizações internas para acelerar as consultas. Adendo a isso, os bancos de dados SQL suportam a definição de chaves primárias e relacionamentos entre tabelas, garantindo a integridade referencial dos dados. Outra funcionalidade importante é a capacidade de realizar consultas complexas e agregações de dados, permitindo a extração de informações valiosas de conjuntos de dados volumosos. temos a definição Os bancos de dados SQL também oferecem recursos de segurança, controle de acesso, recuperação em caso de falhas e suporte a transações para garantir a consistência dos dados.

Portanto, os bancos de dados SQL são estruturas ideais para o gerenciamento eficiente de dados em, não somente, mas, especialmente, em um contexto científico. Sua capacidade de armazenar, organizar e recuperar grandes volumes de dados de maneira confiável e eficiente, juntamente com recursos avançados de consulta e segurança, fazem deles uma escolha popular em uma ampla gama de disciplinas científicas.

Tendo o entendimento dessas características, consultou-se o banco de dados, e extraiu-se um arquivo com mais de dois milhões de atributos para serem utilizados como fonte da tomada de tempo de operações da supracitada linha de montagem. Apesar de ter, nesse momento, segurança sobre a estruturação dos registros, ainda era uma incerteza o método de coleta deles.

2.2.2. Obtenção dos Dados

Sistemas de Execução da Manufatura (MES, do inglês *Manufacturing Execution Systems*) são sistemas de informação que desempenham um papel crucial na gestão e controle das operações de manufatura em uma fábrica. Eles são projetados para monitorar e controlar as atividades em tempo real no chão de fábrica, conectando os processos de produção às funções de planejamento e gerenciamento. Conforme Meyer (2009), o MES é uma ferramenta estratégica central para produção flexível e em rede. Todas as tarefas de gerenciamento da produção são coletadas em uma plataforma integrada. O principal objetivo de um sistema MES é melhorar a eficiência operacional, fornecendo visibilidade e controle em tempo real sobre as operações de manufatura. Eles capturam dados em tempo real diretamente das máquinas, sensores e trabalhadores envolvidos no processo de produção. Esses dados são usados para monitorar o desempenho, coletar informações sobre a qualidade do produto, rastrear o status da produção e fornecer informações essenciais para a tomada de decisões.

Quando avaliamos a linha de montagem dos produtos em questão, esta segue um sistema de *one piece flow*, ou seja, fluxo contínuo de uma peça. Este é um conceito utilizado na indústria para otimizar o processo de produção, minimizando desperdícios e aumentando a eficiência. Ele se baseia no princípio de que cada peça ou produto deve fluir de uma etapa do processo para a próxima sem interrupções, atrasos ou acúmulo excessivo de estoque intermediário. A partir deste método, é possível ter certeza que uma peça encontra-se, em sua totalidade, dentro de uma estação de processo e não em qualquer outro posto. Sabendo-se disso, cada estação possui um sensor que detecta o momento que a peça entrou no posto de trabalho e outro que indica o exato momento em que ela saiu deste local.

Com isso, agora, havia a ciência de que os dados eram produzidos em tempo real e contemplavam o tempo de entrada e saída da peça, entretanto dentro de uma operação podem ocorrer diversos erros de processo que acarretam em acúmulo de ineficiências destes tempos. Para mitigar esses excessos no tempo coletado, devíamos refinar os dados para eliminar possíveis contaminações.

2.2.3. Filtragem dos Dados

Tendo-se a certeza da existência de dados que incluíam desperdícios de processo, foi, então, decidido utilizar uma distribuição normal para remover registros de pontas e trabalhar somente com a essência que representasse o real tempo executado pelos diversos operadores que trabalham nas operações de montagem nesta linha de produção bombas e motores hidráulicos.

A distribuição normal, também conhecida como distribuição de Gauss ou distribuição gaussiana, é uma das distribuições estatísticas mais importantes e amplamente utilizadas na teoria das probabilidades e na estatística. Ela descreve muitos fenômenos naturais e humanos e é caracterizada por sua forma de sino simétrica.

A distribuição normal é definida pela sua média (μ) e pelo desvio padrão (σ). A média determina o centro da distribuição e o desvio padrão define a sua dispersão, seu comportamento pode ser visto na Fig. 1. Dentre suas características principais, alguns pontos se destacam, como, por exemplo a o Teorema Central do Limite. Este teorema estabelece que, independentemente da forma da distribuição original, quando uma grande amostra de observações é tomada, a distribuição das médias amostrais se aproxima de uma distribuição normal.

Esse método de distribuição é amplamente utilizada em estatística e em várias áreas de pesquisa científica, pois muitos fenômenos naturais e sociais se aproximam dessa distribuição. Alguns exemplos incluem a altura e o peso das pessoas, o tempo de reação, as pontuações de testes padronizados, entre outros. A distribuição normal também desempenha um papel fundamental na inferência estatística, permitindo a realização de testes de hipóteses, intervalos de confiança e análise de regressão, entre outras técnicas estatísticas. Em resumo, a distribuição normal é uma distribuição estatística importante e amplamente utilizada, caracterizada por sua forma de sino simétrica. Ela descreve muitos fenômenos naturais, humanos e científicos e possui propriedades estatísticas bem estabelecidas que a tornam uma ferramenta poderosa na análise de dados e na modelagem de diversos processos.

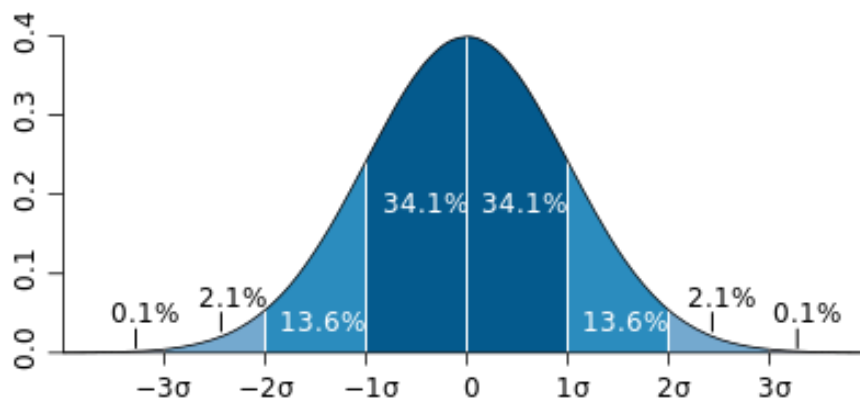


Figura 1. Gráfico de distribuição normal normalizada, representadas as áreas com um (68% da área), dois (95%) e três (99,7%) desvios padrões. Fonte: <https://www.monolitonimbus.com.br/distribuicao-normal/>

2.3. Execução do Projeto

Com o arquivo extraído do banco em mãos e o entendimento de tudo que o constituía, partiu-se então para a primeira inspeção nestes registros. A tabela 1 representa como os dados foram recebidos, através de um exemplo. Ou seja, para uma peça com um número serial específico, recebe-se uma linha para cada estação de processo. Nessa linha é identificada a estação na coluna “Workstation”, o agrupador de identificação de qual peça trata-se na coluna “Serial”, a ordem de produção que gerou este dado na coluna “Order”, o código do item manufaturado na coluna “Material”, a hora de entrada e de saída na estação nas colunas “Entered” e “Exited”, respectivamente, além da duração de processo, sendo a subtração

da 6 pela coluna 5, representado na coluna “Duration” e, por fim, a coluna “Lag” que representa o tempo que a peça ficou parada entre a estação atual e sua antecessora.

Sabendo-se da grande quantidade de itens a serem analisados e do objetivo final que era obter roteiros que representassem de maneira fidedigna o tempo consumido por cada código, foi necessário organizar os dados em grupos, definidos pelo *partnumber*, o código de cada material.

Para que fosse feito tal processo de maneira rápida e eficiente, partiu-se para o desenvolvimento do algoritmo que realizaria essa ação. Para tal foi utilizado o recurso de programação do Microsoft Excel, o *Visual Basic for Applications* (VBA). O VBA permite aos usuários automatizar tarefas, criar macros, personalizar formulários e adicionar funcionalidades personalizadas aos aplicativos do Office. Com este módulo, os usuários podem escrever código para manipular objetos, controlar eventos, executar cálculos complexos, interagir com bancos de dados e muito mais. Ele oferece recursos que incluem estruturas de controle, loops, funções e sub-rotinas, permitindo a criação de scripts e programas completos. Essa linguagem de programação versátil pode ser utilizada para criar soluções simples ou complexas. Ele oferece recursos para trabalhar com variáveis, estruturas de controle, manipulação de strings, matemática e gerenciamento de arquivos.

Com o script escrito, foram segregados cada um dos códigos produzidos em uma guia tabelada que pode ser visto em visão geral na Fig 2. Em cada tabela encontram-se os tempos obtidos nas estações da linha de montagem para cada número serial daquele material, ao lado são encontrados os tempos de lag previamente descritos (Fig. 3). À direita da tabela como pode ser visto na Fig. 4, temos os dados de somatório daquele item seriado no topo indicando a quantidade de retrabalhos que ocorreram durante a montagem, o tempo desses retrabalhos, o tempo total de operação efetiva, além do tempo de atravessamento, sendo esse último a soma do tempo de operação somado ao tempo de lag. Este quadro torna-se fundamental quando tem-se a intenção de analisar o comportamento do processo deste item e compará-lo com outro código produzido. No topo da tabela (Fig. 5) é possível ver o tempo bruto na linha “Average” e o tempo filtrado utilizando o intervalo de um sigma na distribuição normal na linha “Average 1σ”. Este segundo grupo de tempos serão os resultados utilizados para definir os tempos finais nos roteiros a serem criados.

Tabela 2. Exemplificação dos dados obtidos para um número serial único

Workstation	Serial	Order	Material	Entered	Exited	Duration	Lag
H1-OP005	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 21:01:13	16/06/2023 21:16:45	00:15:32	-
H1-OP010	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 21:36:52	16/06/2023 21:40:29	00:03:37	00:20:07
H1-OP020	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 21:47:24	16/06/2023 22:00:16	00:12:52	00:06:55
H1-OP030	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 22:06:29	16/06/2023 22:21:20	00:14:51	00:06:13
H1-OP040	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 22:21:21	16/06/2023 22:30:38	00:09:17	00:00:01
H1-OP050	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 22:30:39	16/06/2023 22:38:15	00:07:36	00:00:01
H1-OP060	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 22:38:16	16/06/2023 22:43:46	00:05:30	00:00:01
H1-OP070	B232412899	58112307	83087638	16/06/2023 22:43:46	17/06/2023 00:18:09	01:34:23	00:00:00
H1-OP080P	B232412899	58112307	83087638	17/06/2023 00:19:26	17/06/2023 00:40:38	00:21:12	00:01:17
H1-OP090	B232412899	58112307	83087638	17/06/2023 00:46:56	17/06/2023 00:49:22	00:02:26	00:06:18

83081374		BOMBA 100																							
Average		00:00:00	00:11:34	01:28:57	00:13:23	00:49:03	00:14:30	00:19:17	00:18:28	00:12:17	00:17:16	00:19:09	00:05:53	00:07:17	00:08:58	00:11:51	00:25:04	02:53:48	01:12:24	00:11:30	00:11:54	0,25	00:05:11	01:08:54	10:44:18
Average 1σ		00:00:00	00:04:35	01:08:11	00:07:28	00:31:08	00:11:16	00:08:08	00:14:34	00:03:13	00:12:08	00:07:23	00:05:13	00:01:36	00:06:32	00:05:15	00:17:47	01:05:45	00:14:32	00:08:06	00:07:53	INDIVIDUAL STATS			
Σ REWORK OCCUR.	Σ REWORK TIME	Σ OPERAT. TIME	Σ TIME IN LINE																						
SERIAL	Lag	O5	Lag	O10	Lag	O20	Lag	O30	Lag	O40	Lag	O50	Lag	O60	Lag	O70	Lag	O80	Lag	O90					
B213909395	00:00:00	00:01:26	00:26:41	00:10:39	00:50:17	00:07:14	00:20:04	00:28:06	00:00:11	00:13:26	04:57:37	00:09:31	00:00:04	00:10:55	00:07:07	00:15:28	00:20:00	00:18:23	00:08:09	00:20:35	0	00:00:00	02:15:43	09:34:02	

Figura 2. Visão geral das tabelas geradas para cada material analisado

SERIAL	Lag	O5	Lag	O10	Lag	O20	Lag	O30	Lag	O40	Lag	O50	Lag	O60	Lag	O70	Lag	O80	Lag	O90
B213909395	00:00:00	00:01:26	00:26:41	00:10:39	00:50:17	00:07:14	00:20:04	00:28:06	00:00:11	00:13:26	04:57:37	00:09:31	00:00:04	00:10:55	00:07:07	00:15:28	00:20:00	00:18:23	00:08:09	00:20:35

Figura 3. Exemplificação de tempos de operação e tempos de lag obtidos em um número serial

0,25	00:05:11	01:08:54	10:44:18
INDIVIDUAL STATS			
Σ REWORK OCCUR.	Σ REWORK TIME	Σ OPERAT. TIME	Σ TIME IN LINE
2	00:14:33	01:24:28	01:39:01

Figura 4. Extratos de somatório para análise de comportamento

Average	00:11:34	00:11:34	00:13:23	00:13:23	00:14:30	00:14:30	00:18:28	00:18:28	00:17:16	00:17:16	00:05:53	00:05:53	00:08:58	00:08:58	00:25:04	00:25:04	01:12:24	01:12:24	00:11:54	00:11:54
Average 1σ	00:04:35	00:04:35	00:07:28	00:07:28	00:11:16	00:11:16	00:14:34	00:14:34	00:12:08	00:12:08	00:05:13	00:05:13	00:06:32	00:06:32	00:17:47	00:17:47	00:14:32	00:14:32	00:07:53	00:07:53

Figura 5. Tempos finais para 3 sigma na linha “Average” e 1 sigma na linha “Average 1σ”

Tendo todos os tempos de cada material extratificados foi necessária a decisão entre duas possibilidades: criar um roteiro para cada *part number* ou agrupar itens com tempos e métodos de montagem semelhantes em famílias. Para tal foi necessário entender as configurações e métodos de processo para identificar possíveis agrupamentos. Tendo analisado todos os códigos foram reduzidos de 38 unidades para 15 famílias.

3. RESULTADOS

Sabendo-se agora que 15 novos roteiros deveriam ser criados, foram feitas as médias ponderadas dos tempos dos itens que compunham a família. Ou seja, o tempo foi multiplicado pela amostragem respectiva de números seriais e divididos pelo total de amostras da família, resultando no tempo utilizado no roteiro.

Com os tempos finalizados, foram criados 15 roteiros de produção, um aumento de 750% quando comparado ao estado inicial. Estes roteiros passaram a valer a partir da data de 01/01/2023. Além do aumento numérico, a acuracidade do dado foi consideravelmente aumentada. Para comprovar tal afirmação fora gerado novamente os dados considerando o primeiro trimestre de 2023 para comparar o desempenho da linha de montagem contra os tempos definidos. Abaixo na Tabela 2 é possível ver o comparativo.

Tabela 3. Comparativo de tempos executados em 2023 com os tempos definidos em roteiro

Route Group*	Tempo 2022	Amostra 2023	Tempo 2023	Delta
Motor 1	0:28:33	381	0:29:29	3,12%
Motor 2	0:33:26	400	0:32:57	-1,45%
Motor 3	0:28:18	401	0:28:33	0,89%
Motor 4	0:31:12	582	0:32:44	4,72%
Motor 5	0:46:42	55	0:44:03	-6,02%
Pump 1	1:15:27	48	1:18:51	4,31%
Pump 2	1:25:05	50	1:24:54	-0,22%
Pump 3	1:29:30	60	1:27:29	-2,30%
Pump 4	1:40:24	22	1:43:06	2,62%
Pump 5	1:17:40	126	1:21:17	4,45%
Pump 6	1:19:49	256	1:21:17	1,81%
Pump 7	1:09:20	81	1:11:46	3,40%
Pump 8	1:20:16	205	1:18:38	-2,08%
Pump 9	1:15:30	207	1:14:15	-1,68%
Pump 10	1:44:37	165	1:45:19	0,66%

* Nomes dos grupos de roteiros foram suprimidos

Quando observamos o comparativo é possível verificar a eficiência dos resultados provindos da análise de dados, onde os desvios encontrados são limitados a 6% de diferença. Quando comparados com as divergências dos fatores de conversão utilizados anteriormente que chegavam a 28%, temos uma redução de 78% no erro de controle da linha produtiva.

Com essa redução foi possível definir o preço dos produtos de modo a cobrar o valor quase exato das horas de mão-de-obra e uso de máquina dentro do custo total do produto. Esse ajuste de cobrança resultou em um decréscimo de 2,4% no valor final dos itens.

Ainda na linha de redução, quando avaliado o tempo despendido foram necessárias 45 horas de trabalho separadas em 2 meses. Para uma cronoanálise com 5 amostras, são demandadas em média um turno e meio de trabalho ininterrupto, totalizando, aproximadamente 15 horas. Não sendo suficiente, ainda é fundamental que todos os códigos passem pela linha para que se tome o tempo gasto na operação. Deste modo é possível dizer que, houve uma redução de 570 horas de trabalho para somente 45, uma redução de mais de 90% do tempo necessário para desenvolver o estudo, corroborando a escolha provinda da matriz de decisão.

Em linhas gerais é possível dizer que, o estudo contribuiu diretamente na disputa por fatia de mercado que a empresa busca dentro do cenário comercial brasileiro. Ou seja, uma falha de controle de processo fora corrigida de maneira mais eficiente, utilizando dados já existentes, sem a necessidade de mobilizar equipes para a obtenção de novos números. E não somente, mas também o estudo resultou em um impacto direto nos resultados financeiros da companhia.

4. CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados apresentados pode-se afirmar com segurança de que o projeto é um sucesso. Quando analisados os ganhos obtidos entende-se como a análise de dados se sobressaiu quando comparada ao método de tomada de tempo por cronometragem. Além disso tem-se a segurança de dizer que o método escolhido para a execução da tarefa é de veras mais eficiente do que o modo tradicional de tomada de tempo.

Quando voltamos nosso foco ao objetivo do estudo temos no estudo de caso respectivo uma amostra clara e objetiva de que a análise de dados tem aplicação direta e fundamental no âmbito industrial. Utilizar métodos como estes estão exatamente em linha com o que se espera de uma companhia que acompanha as tendências de digitalização de processos e otimização de atividades dentro da organização. Se avaliarmos as questões relacionadas aos roteiros, com tempos mais precisos tem-se maior fidelidade das avaliações de produtividade e eficiência dos meios produtivos, assim como esperado no início deste projeto. Além da questão de controles é importante ressaltar a contribuição direta na execução de tarefas: após implementar os novos roteiros foi possível verificar que, quando o tempo de operação é conhecido e validado, pode-se entender se as atividades estão bem dimensionadas, se existem possibilidades de melhorias nos postos e ferramentais, contribuindo diretamente com os setores de operações fabris.

Ainda nos objetivos iniciais tinha-se a pretensão de trazer benefícios à organização, e, mesmo que os tópicos citados anteriormente estejam em linha com esta meta, o fato de haver uma redução de valores no produto final vendido ao cliente torna ainda mais significativa e importante todo o trabalho aqui descrito.

De todo modo, é importante deixar claro que existem falhas no processo utilizado. Quando avaliamos os tempos obtidos e as ineficiências neles embutidos, é entendido que a distribuição normal elimina muitos desses pontos, porém se tem dúvida quanto à eficiência do método utilizado. Isto é, pode ser que, caso a média da distribuição esteja deslocada para qualquer lado, dados ótimos foram eliminados pela faixa de desvio padrão adotada e dados que possuem incongruências tenham sido utilizados. Desse modo pode-se justificar as variações obtidas no comparativo realizado com os dados do ano vigente. Apesar de pequenas essas discrepâncias, são pontos que devem ser avaliados nos próximos estudos.

Falando em próximos estudos, entende-se a necessidade de realizar novas análises periódicas para que os tempos sejam atualizados conforme mudanças e melhorias forem sendo executadas dentro dos processos de fabricação. Desse modo sempre haverá linearidade entre as atualizações da linha de montagem e atualizações de tempos, mantendo o reflexo dos processos no controle dos mesmos. Ainda pensando em novas etapas, é possível que, as atuais famílias possam crescer, e os roteiros serem individualizados. Sendo assim, não será necessário utilizar a média ponderada para definir os tempos, mas, sim, utilizar os valores obtido no estudo diretamente no código correspondente. Para novos itens desenvolvidos também vislumbra-se a adequação destes dentro dos grupos de roteiros atuais em um primeiro momento, com a criação de roteiros individuais em um momento futuro.

Por fim, o desafio inicial foi finalizado, os objetivos tiveram êxito e os benefícios desejados foram alcançados. Deste modo, novamente, pode-se dizer que o estudo e os tópicos que permearam esta empreitada tiveram êxito em sua execução.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai, Ari, pelo exemplo, ensinamentos e por ter me feito juventudista. À minha mãe, Simone, pelo cuidado e dedicação. À minha orientadora, Daniela, pela compreensão e direcionamentos. À minha companheira, Nathalia, pelo incentivo, paciência e carinho.

“I dreamed it all ever since I was young. They said I wouldn't be nothing. Now they always say congratulations. Worked so hard, forgot how to vacation. They ain't never had the dedication. People hating, say we changed, and look, we made it. Yeah, we made it.” (POST MALONE, 2016).

6. REFERÊNCIAS

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. Sistemas de Bancos de Dados. 6a. Ed. Addison-Wesley, 2011.

FREIRE, J.R., & MACHADO, M.A. Tomada de Decisão em Engenharia de Produção: Fundamentos, Modelos e Aplicações. (2017). São Paulo: Atlas.

GARCIA-MOLINA, H.; ULLMAN, J. D.; WIDOM, J. Database Systems: The Complete Book, 2. ed. Prentice Hall, 2008.

JACQUET-LAGREZE, E.; SISKOS, Y. Preference disaggregation: 20 years of MCDA experience. European Journal of Operational Research, v. 130, n. 2, p. 2001. ISSN: 16799844 – InterSciencePlace – International Scientific Journal

MEYER, HEIKO. Factory of the Future. Chap. 2 in Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning, and Deployment. 1st ed. 2009. New York

PIPPIN, C., & VANDENBOSCH, B. The effects of data quality on machine learning algorithms: A systematic literature review. 2017. Decision Support Systems

RUSSOMANO, V. H. Planejamento e Acompanhamento da Produção. 1976. 2ª Edição. São Paulo: Pioneira

WESTERMAN, G., BONNET, D., E MCAFEE, A. Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation. 2014. Harvard Business Review Press

DEVELOPMENT OF PROCESS ROUTINGS USING DATA ANALYSIS METHOD IN SQL DATABASE

Guilherme Giombeli Onzi, engmec.onzi@gmail.com¹

Daniel Lupinacci Villanova, daniela.villanova@farroupilha.ifrs.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – Campus Farroupilha, Avenida São Vicente, 785, Bairro Cinquentenário, CEP 95180-000, Farroupilha – RS.¹

Abstract. *In the manufacturing industry, process routings are the ideal way to define and monitor the production flow of a manufactured item. These engineering documents define the process steps that the product must go through, the respective operation times, the allocation of resources used during its manufacturing, and serve as the basis for measuring the productivity of a production line, workstation, or manufacturing process. However, for the routing to fulfill its fundamental purpose, it is crucial that it is developed in a way that accurately reflects the executed process, ensuring no failures in sequencing, balancing, availability, and process control. In the context of this article, a project carried out in a hydraulic product assembly company identified a flaw in the development process that resulted in significant errors in the mentioned control. The existence of unreliable routings necessitated the need to correct these errors. To do so, it will be demonstrated how an existing database played a key role in rectifying the aforementioned flaw. By extracting over two million data points from the database, which was continuously fed by the devices comprising the Manufacturing Execution Systems (MES) of a high-pressure hydraulic assembly line specifically used in the agricultural sector, it was possible to create 15 new production routings that accurately represented the intended process, bringing accuracy to the purpose of these documents. In the creation process, the data was filtered using a normal distribution, rejecting potential inconsistencies and corruptions at the source. Finally, after six months, the data was reanalyzed, further confirming the efficiency of the executed project.*

Keywords: *Process routings, data analysis, production control, manufacturing industry*