CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI

THAÍS TRALDI MOURA

DEFINIÇÃO DE REGRAS PARA MUDANÇAS DE ESTADO DE EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO COM GARGALO FIXO, VISANDO REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

São Bernardo do Campo

2016

THAÍS TRALDI MOURA

DEFINIÇÃO DE REGRAS PARA MUDANÇAS DE ESTADO DE EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO COM GARGALO FIXO, VISANDO REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro Universitário FEI, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica, Área Produção, orientada pelo Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote.

São Bernardo do Campo

2016

Traldi Moura, Thaís.
DEFINIÇÃO DE REGRAS PARA MUDANÇAS DE ESTADO DE EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO COM GARGALO FIXO, VISANDO REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA / Thaís Traldi Moura. São Bernardo do Campo, 2016.
113 f. : il.

Dissertação - Centro Universitário FEI.
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote.

1. Simulação Computacional. 2. Redução de consumo de energia. 3. Eficiência energética. 4. Mudança de estado de máquinas. I. Massote, Alexandre Augusto, orient. II. Título.

Elaborada pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da FEI com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

centro universitário FEI

APRESENTAÇÃO DE DISSERTAÇÃO
ATA DA BANCA EXAMINADORA

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Mecânica

Mestrado

PGM-10

Aluno: Thaís Traldi Moura **Matrícula:** 213126-6

Título do Trabalho: Definição de regras para mudanças de estado de equipamentos de uma linha de produção com gargalo fixo, visando redução do consumo de energia elétrica

Área de Concentração: Produção

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote

Data da realização da defesa: 01/03/2016

ORIGINAL ASSINADA

Avaliação da Banca Examinadora:

São Bernardo do Campo, / / .

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA	
Prof. Dr. Alexandre Augusto Massote	Ass.: _____
Prof. Dr. Fábio Lima	Ass.: _____
Dr. Élcio Brito da Silva	Ass.: _____

A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO ☒ REPROVADO ☐

VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO

APROVO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE FORAM INCLUÍDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA EXAMINADORA

_____

Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

_____

Prof. Dr. Rodrigo Magnabosco

À minha família, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rogério e Maisa, que sempre me incentivaram e estiveram comigo desde os meus primeiros e pequenos passos até este momento de mais uma conquista. Muito obrigada pelo apoio e amor, vocês são a razão do meu viver.

Ao meu irmão Rafael, que é minha inspiração e meu exemplo, além de meu grande amigo.

Aos meus avós Cláudio, Adélia e Helena, meus grandes amores.

O meu muito obrigada ao meu namorado Rodrigo, agradeço pelo seu incentivo e sua confiança em mim dia após dia.

Ao meu orientador, Alexandre Massote, que sempre me deu conselhos não só sobre o mestrado, mas sobre a vida. Obrigada pela paciência e por acreditar em mim.

Ao meu colega de mestrado e empresa, Alexandre Cianci, obrigada por me ajudar neste trabalho e pela companhia durante todo o curso.

Por fim, agradeço aos demais professores da FEI pelo suporte e incentivos. Vocês são responsáveis por me fazerem crescer e sempre aumentar o meu interesse pela Engenharia de Produção.

RESUMO

As empresas buscam reduzir o consumo de energia elétrica como forma de reduzir o desperdício em sua linha de produção. Esta estratégia possui um apelo sustentável, característica avaliada por muitos consumidores. Ainda são poucos os estudos que tratam o consumo de energia elétrica na linha de produção, e que forneçam soluções simples e aplicáveis para o mercado, e boa parte deles considera apenas dois equipamentos. As ações mais utilizadas e avaliadas pelos autores focam em desligamento de máquinas quando não utilizadas, que pode ou não afetar diretamente o volume de produção da linha. Este trabalho trata a questão da redução de consumo de energia elétrica sem impactos no volume de produção, em uma linha de produção composta por três máquinas com gargalo fixo, criando regras de mudanças de estado dos equipamentos, que observam principalmente estoques intermediários anterior e posteriormente à operação, utilizando a simulação computacional como ferramenta de verificação.

Palavras chave: Simulação computacional. Redução do consumo de energia. Eficiência energética. Mudança de estado de máquinas.

ABSTRACT

Companies work on reducing the electricity consumption to decrease the waste in manufacturing lines. This strategy has a sustainable appeal, a characteristic that is evaluated by many customers. There are few studies that deal with the electricity consumption in manufacturing lines and that provide simple and applicable solutions for the market. Many of them consider only two machines. The most evaluated actions focus on turning off the equipment when it is not being used, what may or may not affect directly the production volume. This work deal with the reduction of electricity consumption without impacts on production volume, in a manufacturing line with three machines with fixed bottleneck, creating rules for changing the equipment's state, mostly based on intermediate buffers, before or after the machine,, using Digital Simulation as a proofing tool.

Key words: Digital simulation. Reduction of energy consumption. Energy efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1 - Classificação das pesquisas científicas de acordo com as seis dimensões 17
Figura 1 – Trabalho versus Muda 25
Figura 2 - Modelo de Metodologia de Simulação 33
Figura 3 – Níveis de análise de consumo energético 36
Figura 4 - Simulação de consumo de energia durante a manufatura 39
Figura 5 - Resultados dos cenários simulados por Hermann e Thiede (2009) 43
Quadro 2 - Regras de mudança de estados 46
Figura 6 – Informações coletadas e assumidas para o desenvolvimento do modelo de Simulação Computacional 51
Fluxograma 1 - Fluxograma de processo 52
Figura 7 - *Block* layout 54
Quadro 3 - Cenários A, B e C para a Simulação Computacional 58
Quadro 4 – Regras dos cenários C e D 59
Quadro 5 - Regras dos cenários D e E 59
Quadro 6 - Regras dos cenários A, E e F 59
Quadro 7 - Regras dos cenários A, E e G 60
Gráfico 1 - Gráfico de consumo dos Cenários Base, A, B e C 64
Gráfico 2 - Porcentagem de consumo de energia elétrica por cenário 67
Gráfico 3 - Consumo de energia de todos os cenários 67
Gráfico 4 - Quantidade de vezes que a máquina deve ser desligada ou religada 68
Gráfico 5 - Consumo de energia por peça produzida 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado de simulação de eficiência energética em uma linha de fundição 41
Tabela 2 - Cenários simulados por Hermann e Thiede (2009)..... 42
Tabela 3 – Resultados das regras de mudanças de estados. 47
Tabela 4 - Tempos de operação 53
Tabela 5 – Volume de produção para 5 dias 55
Tabela 6 - MTBF e MTTR 55
Tabela 7 - Tempos de Setup - OP 0010 em horas 56
Tabela 8 - Tempos de Setup - OP 0020 em horas 56
Tabela 9 - Tempos de Setup - OP 0030 em horas 56
Tabela 10 - Resultados dos cenários simulados 62
Tabela 11 - Resultados dos cenários Base, A, B e C. 63
Tabela 12 - Tempo de bloqueio nos cenários Base, A, B e C. 64

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.2 OBJETIVOS 14

1.3 PERGUNTAS A SEREM RESPONDIDAS 14

1.4 JUSTIFICATIVAS 14

1.5 ABRANGÊNCIA DO ESTUDO 16

1.6 METODOLOGIA 17

1.7 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO 18

2 REVISÃO DA LITERATURA 19

2.1 A RELEVÂNCIA DO CONSUMO ENERGÉTICO NA ESTRATÉGIA COMPETITIVA 19

2.2 PRODUÇÃO ENXUTA 22

2.2.1 Muda, Mura e Muri 24

2.2.2 Balanceamento de linha 26

2.3 INDICADORES DE EFICIÊNCIA 27

2.3.1 Conceito de Eficiência Energética 27

2.3.2 Produtividade e volume de produção 29

2.4 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA TOMADA DE DECISÃO 31

2.5 ESTUDOS DE CONSUMO E REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 35

2.5.1 Simulação Computacional no estudo de consumo de energia 39

2.5.2 Hipóteses para redução de consumo de energia 40

2.5.2.1 Hipóteses de Mouzon, Yildirim e Twoney (2007) 43

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA 49

3.2 DADOS DO MODELO 51

3.1 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS 57

3.3 MODELO 60

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 62

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 70

REFERÊNCIAS..... 72

APÊNDICE A- Arquivo de chegadas..... 76

APÊNDICE B - Transcrição de texto: modelo base..... 78

APÊNDICE C – Modificações feitas do modelo Base para o modelo A..... 85

APÊNDICE C Modificações feitas do modelo Base para o modelo B..... 89

APÊNDICE D - Modificações feitas do modelo Base para o modelo C..... 94

APÊNDICE E - Modificações feitas do modelo Base para o modelo D..... 99

APÊNDICE F - Modificações feitas do modelo Base para o modelo E..... 102

APÊNDICE G - Modificações feitas do modelo Base para o modelo F..... 106

APÊNDICE H - Modificações feitas do modelo Base para o modelo G..... 110

1 INTRODUÇÃO

Para aumentar lucros ou competitividade, as empresas procuram suprir a demanda com menos custos. Devido à crescente parcela do custo da energia no sistema manufatureiro, muitas empresas têm investido em métodos produtivos que necessitem de menos energia para operar, porém com máquinas e processos que garantam a qualidade do produto e o volume de produção, favorecendo economicamente a empresa, e consequentemente o meio ambiente.

Essa prática mostra a sustentabilidade como uma estratégia da empresa, motivada pela redução de impacto ambiental e uma melhor percepção da empresa pelos consumidores. Além de propiciar redução de custo de processo e aumento de competitividade.

Para Apostolos et al. (2013), um processo de manufatura utiliza um ou mais mecanismos físicos para transformar os materiais (entradas) no produto final (saídas). A energia elétrica necessária para garantir o funcionamento da operação também é considerada uma entrada do processo, parcialmente transformada em trabalho útil, sofrendo, porém, perdas como por exemplo, o calor durante o processo. Os autores afirmam também que durante um processo produtivo, existe muita perda de energia em máquinas por ficarem muito tempo em espera, ou seja, enquanto a máquina está ociosa, por falta de itens a serem processados ou por diversas razões, como intervalos de operários, manutenções em outras partes do sistema produtivo, entre outras, o equipamento continua ligado e consumindo energia. Esse fato é muito comum com equipamentos que não são o gargalo da produção.

Portanto, são possíveis duas abordagens quando o objetivo é melhorar o consumo energético de uma linha de produção:

a) reduzir a perda de energia durante o processo, seja por efeito joule, atividades desnecessárias ou otimizando o trabalho da ferramenta, considerando uma única operação e estação de trabalho;
b) reduzir a perda de energia durante o processo das máquinas não-gargalos, considerando a linha de produção como um todo, não focando apenas na operação, mas na situação geral da linha produtiva em relação ao consumo de energia e produtividade, incluindo mudanças de estado dos equipamentos na linha de produção.

O foco deste trabalho está no item “b” supracitado, tendo como finalidade testar regras de mudança de estados das máquinas de uma linha de produção com base na melhor utilização de estoques intermediários, tomando o cuidado de evitar perdas no volume de peças fabricadas, a fim de verificar se há redução do consumo de energia. Esta opção foi escolhida por considerar a linha de produção como um sistema integrado, permitindo que sejam observados aspectos mais amplos como estoques, movimentação, operadores, entre outros, e não apenas aspectos específicos de cada equipamento.

A Manufatura Digital possui ferramentas para que as linhas de produção sejam melhoradas, tanto no processo em si quanto no resultado final produzido. A Simulação Computacional é uma dessas ferramentas. São pesquisados neste estudo diferentes métodos e regras de mudança de estado de equipamentos, que levam à redução do consumo de energia, e validadas utilizando a ferramenta de Simulação Computacional, que permite verificar também quais são as eventuais perdas ao se priorizar em uma linha produtiva o consumo energético.

São considerados para o estudo tempos de produção, níveis de estoques, e demais condições de uma linha de montagem, analisando a eventual existência de conflitos entre eficiência energética e volume de peças fabricadas, para que possa contribuir para uma mudança da cultura de balanceamento de uma linha de produção.

Para a realização do estudo, são utilizadas informações da montadora de origem alemã, Mercedes-Benz do Brasil, situada na região da grande São Paulo. Inaugurada em 1956, produz em um mesmo local, caminhões, chassis de ônibus, cabinas e agregados, como motores, câmbios e eixos.

A empresa possui uma longa trajetória de sucesso no país, mas está sendo afetada pela crise econômica que o país enfrenta, que acarreta em um baixo volume de vendas de veículos comerciais. Neste período foram utilizados diversos artifícios para manter-se saudável financeiramente, focando principalmente na redução dos custos fixos.

Por isso, uma medida de grande importância foi tomada: a criação de um departamento de eficiência energética. O objetivo deste departamento é estudar diversas medidas para que o custo com energia elétrica seja reduzido. Os estudos começaram com o mapeamento das estações de energia da empresa, e aos poucos os equipamentos e máquinas também têm sido mapeados, permitindo o monitoramento do consumo de energia assim como facilitando o controle de energia. Felizmente, a demanda por este tipo de análise das próprias áreas internas é grande.

Dentre os diversos ramos de produção da empresa, foi escolhido como objeto de estudo a fabricação de um componente específco da área de usinagem de eixos. Por motivo de confidencialidade, a denominação real do componente, bem como outras informações consideradas estratégicas pela empresa serão utilizadas porém não descritas.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é determinar regras para mudança de estados dos equipamentos de uma linha de produção, a fim de avaliar o comportamento do consumo de energia elétrica.

Busca-se também atingir os seguintes objetivos específicos:

a) comparar o desempenho de uma linha produtiva com balanceamento tradicional, que prioriza o fluxo unitário de peças e sem interferências de controle de energia nos equipamentos e com foco em volume de produção, contra um balanceamento com medidas para a melhoria do consumo energético;
b) verificar a eficiência da simulação computacional como ferramenta para tomada de decisão com base em consumo de energia elétrica.

1.3 PERGUNTAS A SEREM RESPONDIDAS

As perguntas a serem respondidas neste trabalho são:

a) É possível reduzir o consumo de energia da linha de produção sem afetar o volume de produção?
b) Quais regras criadas trazem maior benefício antes e depois do gargalo?

1.4 JUSTIFICATIVAS

O consumo de energia elétrica tem se tornado uma parcela muito importante no custo de produção das empresas. O custo da energia elétrica tende a tornar-se um recurso mais caro dia após dia, já que a demanda de energia mantém altos níveis e a produção deste recurso não

cresce com a mesma velocidade, além de ser gerada em partes por energias não renováveis, ou seja, que possuem um tempo de esgotamento finito.

No Brasil a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), fundada em 1996, tem como objetivo fazer a gestão da energia elétrica no país, regularizando e fiscalizando o comércio e serviços de transmissão. A própria instituição é responsável por criar as normas que regem a questão tarifária, e para isso divide as unidades consumidoras em classes.

Para a ANEEL (2010), a classe industrial caracteriza-se pelo fornecimento à unidade consumidora em que seja desenvolvida atividade industrial, de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

Dados da ANEEL de 2003 a 2014 mostram a evolução do consumo de energia médio por unidade consumidora industrial, assim como um aumento da tarifa média do país. Em 2003, cerca de 6 milhões de unidades industriais consumiram aproximadamente 97 milhões de MWh de energia elétrica, com custo médio de tarifa de R$165,11 por MWh. Já em 2014, apesar do incremento de cerca de 300.000 unidades industriais consumidoras, o consumo de energia reduziu para 57 milhões de MWh. Já a tarifa média sofreu diversos reajustes até atingir o patamar de R$331,39 por MWh.

Complementando este cenário de aumento tarifário, o Brasil enfrenta uma situação muito particular. Os anos de 2014 e 2015 foram críticos para a matriz energética brasileira, e as perspectivas para os próximos anos continuam sem grandes mudanças. O regime de chuvas abaixo das médias históricas representa uma grande preocupação para as hidrelétricas, comprometendo a capacidade de geração de energia. Estimativas da Firjan (Federação das Indústrias do Rio de Janeiro) apontaram que a conta de energia elétrica da indústria brasileira ficou entre 40% e 60% mais cara em 2015. (UOL, 2015)

Conforme matéria publicada no portal de notícias Extra, em 30 de janeiro de 2015, o Ministro de Minas e Energia no Brasil, Eduardo Braga, comenta o risco de apagões e crise energética no país:

> "Eu acredito, realmente, que é desafiador, acho que nós temos que trabalhar duro e firme, para continuar garantindo o fornecimento de energia, como nós estamos conseguindo, de forma desafiadora, a entrega aos consumidores".
> (PORTAL EXTRA, 2015).

Dados do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), agência da Organização das Nações Unidas (ONU) responsável por promover a conservação do meio

ambiente e o uso eficiente de recursos no contexto do desenvolvimento sustentável, alegam que caso não seja instaurada a prática do consumo e produção sustentáveis, seriam necessários o equivalente a dois planetas Terra para suprir as demandas da população no ano de 2050. Dentre as diversas atividades apontadas na prática do desenvolvimento sustentável, encontra-se o consumo sustentável de energia elétrica. O desenvolvimento verde tem por objetivo a utilização de práticas que sejam benéficas ao meio-ambiente.

Devido ao crescimento do conceito de sustentabilidade, atrelado à alta demanda de energia elétrica, seu baixo incremento de poder de geração e seu alto custo (com perspectivas de crescerem ainda mais), o consumo de energia elétrica vem ganhando cada vez mais relevância dentro das empresas. As empresas não podem ficar suscetíveis a aumentos de tarifa do consumo de energia, o que aumenta diretamente o custo fixo, e ainda usam a sustentabilidade de forma estratégica.

As indústrias, que precisam produzir cada vez mais, melhor, e com menor custo, procuram reduzir o consumo de energia elétrica também de forma direta na linha de produção. A energia elétrica gasta além do necessário passa a ser vista como desperdício, sendo a gestão do consumo considerada uma estratégia. É necessário que as empresas consigam equilibrar a produção considerando não apenas a atender ao cliente em volume de peças, mas também o incremento de eficiência de recursos energéticos.

Assim sendo, a redução do consumo de energia na manufatura é extremamente importante do ponto de vista econômico e estratégico, podendo levar à uma redução no custo de produto e sem impactar na sua qualidade e volume de produção.

Dessa forma, o trabalho visa avaliar se a gestão dos equipamentos, baseando-se em regras para mudança de estado conforme níveis de estoques intermediários, podendo trazer benefícios no consumo de energia de uma linha de produção, mostrando a importância da gestão dos recursos de energia sem impactar nos volumes de produção, sendo uma ação benéfica tanto para o meio-ambiente quanto para a indústria.

1.5 ABRANGÊNCIA DO ESTUDO

O estudo é aplicado à uma linha de produção específica e algumas características devem ser sempre mantidas para que o resultado seja válido. Caso elas sejam alteradas, os resultados finais podem ser impactados.

As características principais da linha de produção utilizadas neste estudo são:

a) três máquinas com tempos de operação distintos;
b) gargalo na máquina intermediária, ou seja, responsável por executar a segunda operação;
c) a linha possui capacidade para estoques intermediários, ainda que pequena;
d) a relação entre o consumo de energia elétrica de cada equipamento, em cada estado.

1.6 METODOLOGIA

As pesquisas científicas são classificadas em dimensões: natureza, finalidade, tipo, estratégia e delineamento (APPOLINÁRIO, 2006).

As divisões de cada dimensão estão descritas no quadro 1:

Quadro 1 - Classificação das pesquisas científicas de acordo com as seis dimensões

Natureza	Finalidade	Tipo	Estratégia	Delineamento
Qualitativa	Básica	Descritiva	Campo	Levantamento
				Correlação
Quantitativa	Aplicada	Experimental	Documental	Experimento
				Quasi-experimento

Fonte: Autor "adaptado de" Appolinário, 2006

Analisando a dimensão "Natureza", conclui-se que esta pesquisa possui caráter quantitativo, pois possui a pressuposição básica é que os dados sejam baseados em fatos objetivamente mensuráveis (APPOLINÁRIO, 2006).

De acordo com Appolinário (2006), a dimensão "Finalidade" desta pesquisa pode ser classificada como básica, visando o incremento do conhecimento científico.

Esta pesquisa é de tipo experimental, já que conforme Cervo, Devian e Da Silva (2006), o caráter experimental da pesquisa é dado pois há a intenção de se manipular as variáveis relacionadas ao objeto de estudo, proporcionando relações de causa e efeito de determinado fenômeno. Para Appolinário (2016), o experimento é um processo no qual são provocadas mudanças deliberadas enquanto os resultados são observados, ou seja, manipula-se variáveis para observar o que acontece com as outras.

A estratégia de pesquisa deste trabalho é classificada como “campo”, pois as unidades de coleta de dados foi um sujeito, objeto ou fenômeno. (APPOLINÁRIO, 2006).

Por fim, o delineamento é considerado um experimento, sendo a coleta dessas informações através de variáveis pré-determinadas, buscando verificar e explicar sua influência sobre outras variáveis. Nessa situação também, o pesquisador assume um papel mais neutro relacionado ao objeto de estudo (APPOLINÁRIO, 2006).

Neste estudo, separa-se as variáveis em independente e dependentes. As variáveis independentes são aquelas que são alteradas durante o experimento, como as regras de mudança de estado. As variáveis dependentes são aquelas que são mensuradas, e que sofrem alterações com consequência das mudanças nas variáveis independentes. No caso, as variáveis dependentes deste estudo são, por exemplo, consumo de energia elétrica e quantidade de peças produzidas (CERVO; BERVIAN; SILVA, 2006)

1.7 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho está dividido em 5 seções.

A seção 1, denominado “Introdução”, contém a ideia central do estudo, com justificativas de relevância do tema, perguntas e objetivos principais, e também apresenta a explicação da metodologia adotada.

Na seção 2, chamado “Revisão de Literatura”, são abordados temas relevantes ao desenvolvimento do estudo, como Produção Enxuta, consumo energético como estratégia competitiva, indicadores de eficiência (produção, produtividade e eficiência energética), simulação computacional de manufatura e seus estudos relacionados à energia elétrica. Encontram-se também exemplos de estudos realizados por diversos autores quanto à redução de consumo energético em linhas produtivas, bem como os resultados obtidos por cada um.

A seção 3, “Desenvolvimento da Pesquisa”, detalha os cenários estudados, a coleta de dados e o modelo criado para o experimento, e o resultado obtido com a aplicação de cada cenário.

Na seção 4, “Análises dos resultados”, é feita uma análise e discussão sobre os resultados obtidos

A seção 5, intitulado “Conclusões e considerações finais”, confere as principais conclusões obtidas na pesquisa, bem como sugestões de trabalhos e estudos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção tem por objetivo mostrar como especialistas abordam os temas utilizados na elaboração dessa pesquisa, mostrando trabalhos já realizados e conceitos bem definidos encontrados na literatura.

2.1 A RELEVÂNCIA DO CONSUMO ENERGÉTICO NA ESTRATÉGIA COMPETITIVA

Com o avanço das tecnologias e com o efeito da globalização, tanto empresas quanto consumidores estão passando por diversas mudanças comportamentais. Devido à maior facilidade de acesso às informações, que podem ser encontradas em diversas fontes e meios, os clientes possuem maior conhecimento sobre produtos, qualidade e preços de diversas marcas e fabricantes nacionais e internacionais. Assim, para que as empresas se mantenham competitivas, precisam se adequar ao maior número de concorrentes e maior exigência de seus clientes.

Muitas empresas estão passando por um processo de reavaliação de suas estratégias, alterando seus conceitos, produtos e métodos produtivos para que possam ainda continuar sendo competitivas, não apenas sobrevivendo às novas características de mercado, mas também crescendo e tornando-se reconhecidas mundialmente.

A estratégia é uma atividade orientada pelo longo prazo, que pode estar formal ou informalmente embutidas na empresa, que comtemplem a missão e visão da mesma, baseada em seus objetivos (BATALHA; RACHID, 2008).

Na decisão de qual estratégia seguir, as empresas devem sempre se atentar aos principais *stakeholders* (principais interessados na empresa e suas atividades e atitudes): sociedade, fornecedores, acionistas, empregados e consumidores. Estes são as pessoas ou grupos que possuem interesse na operação, e que podem ser influenciadas por, ou influenciar as atividades da operação produtiva (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2008).

Slack, Chambers e Johnston (2008) afirmam também que as estratégias podem ser divididas em 5 objetivos principais, chamadas de objetivos de desempenho: qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custo.

A qualidade significa fazer as coisas da forma certa. É muito perceptível pelo cliente, mas um tanto objetiva, já que a partir do momento em que o produto oferecido atende às expectativas do cliente, este passa a ter uma qualidade aceitável. Porém, cada cliente é

diferente e possui também desejos e expectativas diferentes. Neste objetivo está incluso a qualidade do processo produtivo de forma a evitar erros.

A rapidez é o tempo que os consumidores precisam esperar para receber os seus produtos. Usualmente, quanto antes os produtos estiverem disponíveis, melhor a percepção do cliente.

A confiabilidade é fazer as coisas em tempo para os consumidores receberem os produtos conforme o prometido, e esse parâmetro só pode ser julgado após a entrega do produto. São analisados a durabilidade do produto e também se existe um mercado de atendimento e reposição para o caso de eventuais falhas.

A flexibilidade refere-se a capacidade de mudar a operação, em como é feita e quando é feita, e deve atender produtos diferentes, mix compostos, volume e prazos de entrega. Dessa forma, a empresa sempre poderá ofertar ao cliente o produto que mais se adequa às suas necessidades.

Por fim, o último objetivo estratégico é o custo. Quanto menor o custo da empresa para produzir determinada gama de produtos, maior o lucro e menor o preço que este produto poderá ser vendido no mercado. Os custos costumam envolver funcionários (folhas de pagamento e benefícios), instalações, tecnologias e equipamentos, e materiais (diretos ou indiretos na fabricação do produto).

É importante ressaltar que os objetivos estão ligados entre si, e refletem a interferência dos demais. Por exemplo, para incrementar a qualidade do produto ou serviço, a empresa pode optar por utilizar um equipamento ou software mais potente, com mais recursos. Porém, essa estratégia impacta diretamente na função custo, às vezes de forma negativa pois requer maior especialização dos funcionários, gerando um custo maior, outras vezes gerando um aumento de eficiência e reduzindo o custo do produto final. Esse conflito nos interesses e nos ganhos é exemplificado por Tubino (1999), considerando que para elevar o nível de qualidade do ponto A para o ponto B, o custo também sofre alterações.

Dentro do objetivo custo está incluso o montante gasto com instalações e equipamentos, que contempla o custo com energia elétrica consumida pelas máquinas utilizadas no sistema produtivo, tanto em uso quanto em espera, assim como a energia consumida pelos seus periféricos e demais recursos no ambiente manufatureiro.

Outro fator recente aponta para uma necessidade de reavaliação das estratégias empregadas pelas empresas. Atualmente, a sustentabilidade tornou-se parte da estratégia competitiva de muitas empresas.

A palavra sustentável tem origem no latim "sustentare", significando sustentar, apoiar, conservar. O conceito por trás da palavra relaciona-se principalmente com a visão de atitudes ecologicamente corretas e viáveis no âmbito econômico (WANG; SELIGER, 2011).

As indústrias procuram adaptar-se ao conceito de sustentabilidade, desde a concepção do produto, observando seu ciclo de vida e impacto ambiental no descarte, assim como a manufatura do produto. Wang e Seliger (2011) afirmam que devido ao rápido crescimento da economia e ao uso de fontes limitadas de energia, esta tornou-se o gargalo da produção sustentável.

A sustentabilidade, além de permitir redução de custos, tem um forte apelo aos consumidores, que estão cada vez mais atentos à questão do impacto ambiental, recebendo inclusive o título de "consumidor verde". Conforme Afonso (2010), o consumidor verde é aquele que prefere comprar ou consumir produtos que sejam produzidos de acordo com princípios de preservação ambiental. O consumidor verde sabe que, recusando-se a comprar determinados produtos, pode deixar de incentivar a produção daquilo que agride o meio ambiente. A autora ainda afirma que diversas razões podem fazer com que produtos recebam apelo negativo perante a esses consumidores, como por exemplo:

a) produtos que representem um risco à saúde do consumidor ou população ao redor;
b) produtos que prejudiquem o ambiente durante a produção, uso ou descarte final;
c) excesso de embalagens ou que não sejam descartáveis, entre outros.

Conforme Branco et al. (2013), controlar o consumo de energia elétrica é essencial, garantindo que não exista desperdício ou gasto exagerado desse recurso. Além disso, as empresas precisam conscientizar-se que existem dois panoramas beneficiados por esse controle, sendo o primeiro a redução de gastos financeiros, e o segundo a questão da sustentabilidade e preocupação ambiental.

Sendo assim, a prática do controle do consumo energético aliado às diversas estratégias de melhoria de eficiência energética, por meio de um conjunto de medidas e práticas que possibilitem aumentar a eficiência com que a energia é utilizada em todos os setores de uma determinada empresa, possibilita um aumento de competitividade, juntamente com melhorias da produtividade que incluem reduções de custos. (BRANCO et al., 2013).

Sabe-se, portanto, que a manufatura dos produtos deve gerar o máximo de benefícios ambientais possíveis, ou reduzir o impacto ambiental causado para níveis mínimos, e que esse fato leva a uma vantagem competitiva perante os consumidores.

Para a indústria, a redução de consumo possui um caráter estratégico, já que os desafios ambientais passaram a ser percebidos e apreciados pelos clientes finais, além das evidentes reduções econômicas.

As oportunidades relacionadas ao tema de redução do consumo de energia, segundo Chang et al. (2013), fundamentam-se principalmente na relação de custo do consumo, observando sua importância na parcela nos custos e seu impacto direto no lucro da empresa. Por exemplo, para empresas que trabalham com pequena margem de lucro, o impacto direto da redução de consumo associa-se ao incremento da margem de lucro. Apesar de ser uma atividade de caráter estratégico, e de impactar beneficamente no lucro e na sustentabilidade da empresa, não é simples ter o conhecimento pleno dos aspectos de consumo da empresa. A dificuldade e a falta de rotina, em se monitorar e analisar as informações de cunho de consumo energético entre os equipamentos pode mascarar problemas da operação como um todo, levando A decisões equivocadas e que podem não trazer todo o benefício estratégico esperado.

Quando se pretende reduzir os custos da linha de produção, as perdas pelo consumo de energia elétrica incorreto são mais difíceis de serem diagnosticadas quando comparadas a insumos como as matérias-primas. Por serem essenciais e insubstituíveis na produção, ocorre o problema da redução do desempenho do sistema produtivo com consequente elevação do custo do produto, limitando assim a qualidade da energia efetiva. (BRANCO et al., 2013)

O consumo de energia elétrica está diretamente associado à chamada eficiência energética. Essa eficiência ou o próprio consumo deve ser analisado e pensado em todos os passos de criação e produção do produto, já com o intuito de obter baixos índices para esses parâmetros. O que ocorre na maioria das situações é que o consumo só passa a ser notado quando está causando prejuízos ou torna-se uma parcela significativa do custo da empresa. É importante ressaltar, porém, que a eficiência energética deveria ser trabalhada através de toda a cadeia de decisão da configuração e operação da manufatura, e não apenas como medida paliativa para redução de gastos.

2.2 PRODUÇÃO ENXUTA

Usualmente, a estratégia competitiva da empresa abrange também a estratégia da produção. Muitas empresas adotam a Manufatura Enxuta como base para suas operações.

Lean manufacturing significa “fabricar sem desperdício”, e é comumente chamada também de Produção Enxuta.

Como o foco de uma Produção Enxuta é a redução de desperdício em seus processos, é importante clarificar que desperdício é tudo além do mínimo necessário de equipamento, materiais, peças e horas de trabalho que são absolutamente necessários à produção. A abordagem enxuta é focada na redução sistemática dos desperdícios no fluxo de valor (TAJ; BERRO, 2006).

Para que um sistema produtivo seja considerado enxuto, ele deve utilizar certas ferramentas na forma correta e quando forem necessárias. Existe um grande número de ferramentas disponíveis, e cabe às próprias empresas entenderem e escolherem quais usar ou não, com o intuito de localizar com precisão as maiores fontes de desperdício e guiá-las através de ações corretivas para reduzir ou eliminá-las. Algumas das ferramentas mais comuns são melhoria contínua, gestão da qualidade total (TQM), *Heijunka, Just-in-time e Kanban*, 5S, entre outras. (WOMACK; JONES; ROSS, 2003; ABDULMALEK; RAJGOPAL; KIM, 2006)

Também é importante notar que a Produção enxuta foca em fluxo contínuo, ou seja, manter o processo produtivo continuamente em movimento e sem adotar lotes, levando a peça sempre para a próxima estação de trabalho ao invés de criar lotes e estoques intermediários (LAUGENI; MARTINS, 2006).

Para Hines e Taylor (2000), existem cinco princípios que devem ser considerados para se ter uma empresa enxuta:

a) especificar o que cria e o que não cria valor na perspectiva do cliente, não restringindo apenas a análise à empresa, função ou departamentos;
b) identificar todos os passos necessários para projetar e fabricar a linha de produtos, deixando de forma visível onde estão as perdas e desperdícios (que não agregam valor);
c) criar fluxos contínuos de processo (manufatureiro ou não), que não tenham desvios, contrafluxos, esperas ou refugos;
d) só fazer o solicitado pelo cliente;
e) buscar a perfeição, eliminando todas as perdas assim que elas forem descobertas.

A eliminação dos desperdícios está ligada diretamente à questão da qualidade, e esta que deve ser seguida de uma internalização desta filosofia, com uma busca constante por eliminar os desperdícios, análise sistemática dos custos que a partir do momento que não se

pode agregar mais valor, devem ser entendidos como desperdício e então eliminados. (BRANCO et al., 2013)

2.2.1 Muda, Mura e Muri

Para a produção enxuta, a busca por eliminação e redução das perdas é fundamental, pois quando uma prática ineficiente é melhorada, outras perdas são evidenciadas, levando ao melhoramento continuo do processo produtivo.

As práticas que geram desperdício e, portanto, expõem as atividades e práticas que devem ser eliminadas, são conhecidas por 3Ms (Muda, Mura e Muri).

> "No sistema de Produção Enxuta, tenta-se chegar a perfeição, a qual dificilmente, se alcança, pois conforme os desperdícios identificados vão sendo removidos, outros não tão significativos surgem. A definição de valor também não é constante e a sua revisão identifica outros desperdícios ao longo da cadeia de valor. Assim, a perfeição é um objetivo seguido na Produção Enxuta." (LAUGENI; MARTINS, 2006, p. 463).

Muda significa desperdício e são atividades que não agregam valor para o produto, ou seja, são atividades que o cliente não está disposto a pagar, e que devem ser reduzidas ao máximo. O combate sistemático às perdas também é um combate aos fatores básicos de má qualidade e dos problemas fundamentais de gerenciamento.

Conforme Hines e Taylor (2000) existem sete desperdícios:

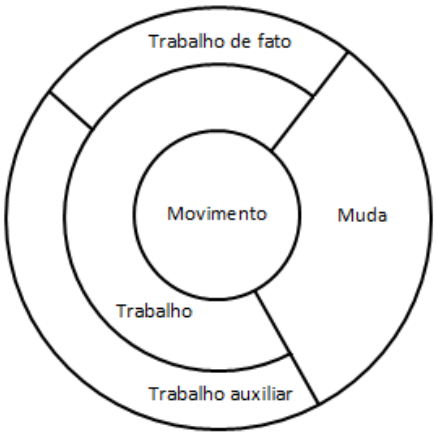
a) Espera: longos períodos de inatividade das pessoas, informações ou produtos, resultando num fluxo deficiente e longos prazos de entrega;
b) Transporte excessivo: movimento excessivo de pessoas, informações ou produtos, resultando em perdas de tempo, esforço e custo;
c) Movimentação: movimentos desnecessários, organização deficiente no local de trabalho, resultando numa ergonomia deficiente, por exemplo, movimentos de flexão ou de estiramento excessivos e perdas frequentes de itens;
d) Estoque: armazenagem em excesso e atraso de informações ou produtos, resultando num custo excessivo e um atendimento deficiente ao cliente;
e) Processo: execução de um processo de trabalho com ferramentas, procedimentos ou sistemas errados, quando, muitas vezes, um modo mais simples poderia ser mais eficiente;

f) Defeitos (correção): são erros frequentes nas papeladas, problemas de qualidade nos produtos ou desempenho deficiente na entrega;
g) Superprodução: produção demasiada ou cedo demais, resultando num fluxo fraco de informações ou de produtos e com estoques em excesso.

Diversos autores citam um oitavo tipo de Muda, o desperdício do capital intelectual, que significa o mau aproveitamento dos funcionários na identificação de melhorias, independente do cargo exercido. Além de falta de comunicação dentro da empresa ou da empresa com seus fornecedores.

Pascal (2008), divide o movimento humano em categorias, como mostra a figura 1:

Figura 1 – Trabalho versus Muda



Fonte: Autor "adaptado de" Pascal, 2008, p. 39

O movimento pode ser divido em trabalho e muda. Já o trabalho se subdivide em trabalho de fato e trabalho auxiliar. O trabalho de fato é aquele que agrega valo ao produto final, por exemplo, uma operação. O trabalho auxiliar dá apoio ao trabalho de fato, como colocar ou retirar uma peça do local de trabalho. Já a muda, conforme dito anteriormente, não agrega qualquer valor.

Hines e Taylor (2000) afirmam que em um ambiente de produção, em empresas comuns,o percentual de tempo de execução de cada atividade está por volta de 5% para trabalho de fato, 35% para trabalho auxiliar e 60% para *muda*.

Já a *Mura* representa a falta de regularidade na produção, com picos de altos e baixos alternados, não sendo a demanda puxada pelo cliente, mas sim sendo resultado de uma produção oscilante. Neste caso, os operadores alteram seu ritmo de trabalho, resultando em

intervalos de trabalho irregulares. Muitas paradas não programadas no processo causam ociosidade do funcionário, e este deve correr com a produção para "recuperar o tempo perdido".

Existe, também, o fato da sazonalidade do produto, ou seja, os clientes solicitam mais produtos em um determinado período, como chocolates na época de Páscoa e brinquedos na época de Natal, e a empresa não está preparada para atendê-los, o que faz com que os funcionários trabalhem em ritmo acelerado e façam horas-extras.

O último M, *Muri,* representa a sobrecarga de recursos mecânicos ou humanos, tendo o significado de ser difícil de fazer e é resultado de variações na produção, ajustes inadequados de peças e ferramentas e até projetos de ergonomia. Faz com que os recursos operem de forma mais rápida, empregando mais esforço ou por mais tempo do que o recomendado.

2.2.2 Balanceamento de linha

O balanceamento de linha é um dos pilares da Produção enxuta, e tem como objetivo fazer com que um processo produza sempre a mesma quantidade do processo precedente (SHINGO, 1996).

Não apenas pensando na quantidade de produtos produzidos, mas sim em como eles são feitos, afirma-se também que o objetivo do balanceamento de uma linha de produção é fazer com que todas as estações de trabalho necessitem aproximadamente do mesmo tempo para realizar as suas operações, minimizando o tempo ocioso de equipamentos e mão-de-obra. (AGUIAR; PEINADO; GRAEML, 2007).

Assim, o ajuste de tempo e volume são críticos, e quanto mais desbalanceada a linha, maior a inconsistência da produção e maior a necessidade de funcionários e equipamentos extras. (SHINGO, 1996).

Conforme Aguiar, Peinado e Graeml (2007), os impactos de se ter uma linha desbalanceada, ou seja, onde as atividades de cada estação de trabalho não estão niveladas, são:

a) O operador responsável pela atividade mais demorada aumenta os esforços para tentar compensar o desbalanceamento, o que pode levar a problemas de fadiga e doenças de trabalho;
b) Ociosidade de operadores, levando ao desperdício de mão-de-obra;

c) Velocidade da linha de produção limitada à velocidade da operação mais lenta, que possui maior tempo de duração. Em outras palavras, a linha de produção fica subordinada à operação do "gargalo" produtivo.

Para Chakravorty e Atwater (1995), o balanceamento de linhas tem como meta principal a divisão do tempo de ciclo desejado em estações de trabalho, tentando maximizar a utilização de máquinas e funcionários. Deve-se apenas tomar cuidado para não criar muitos estoques intermediários, mas sim tentar um fluxo constante de peças unitárias.

2.3 INDICADORES DE EFICIÊNCIA

A eficiência é um índice que pode ser utilizado em diversas situações, como mercado financeiro, produção, específica para resultados de projetos, etc. No caso da eficiência energética, esse conceito pode ser aplicado também de diferentes formas, conforme a aplicação especifica do indicador.

Almeida, Mariano e Rebelatto (2006), afirmam ainda que é possível utilizar o conceito de eficiência quando comparado com a melhor situação de resultados em relação a determinado número de recursos, ou seja, o resultado máximo que poderia ser alcançado comparado com o que foi efetivamente produzido com a mesma quantidade de recursos.

Para Moraes e Santoro (2006), a definição padrão de eficiência é muito ampla, sendo um indicador que define a capacidade real de um sistema em relação a uma capacidade teórica ou projetada, ou ainda como a relação entre a capacidade máxima e a atingida no momento (real), porém os próprios autores fazem uma ressalva de que não é encontrada na literatura uma forma comum de medir a capacidade máxima.

2.3.1 Conceito de Eficiência Energética

Mensurar a eficiência energética de um sistema ou processo é um passo essencial para o controle do consumo energético e seus custos. O conceito de eficiência pode ser traduzido como a relação entre os resultados alcançados e os recursos utilizados para estes mesmos resultados (HERMANN et al., 2011).

Apesar de ser um termo genérico, a amplitude da eficiência energética não é incorreta nem prejudica seu uso, desde que o usuário saiba entender os parâmetros do estudo em questão para que possa usar o indicador da forma mais adequada. Pode-se definir o termo

simplesmente como o resultado da divisão entre a saída útil do processo e a energia de entrada no processo (PATTERSON, 1996).

É sabido também que durante as operações ocorre a dissipação de energia na forma de calor, som, vibração, entre outros. Dessa forma, é possível assumir que outra maneira de calcular a eficiência energética é observar a entrada e saída de energia e as perdas que ocorrem durante o processo. Esse conceito, porém, é de difícil mensuração, já que requer equipamentos específicos para que possam ser calculadas corretamente a energia que entrou no sistema e a energia gasta efetivamente no processo produtivo agregando valor ao produto.

Patterson (1996) considera a eficiência energética como a divisão de qualquer unidade de saída relevante para a análise, não necessariamente produtos produzidos, mas qualquer outro aspecto físico que seja de importância para o processo, pela quantidade de energia consumida. O mesmo autor comenta que é possível medir a "intensidade da energia" se invertermos a ordem dos indicadores, gerando, por exemplo, uma intensidade de determinada quantidade de Watts/Peça produzida.

Dentre os indicadores de eficiência energética, é possível dividi-los em 4 tipos diferentes (PATTERSON, 1996):

a) termodinâmico: entradas e saídas são relacionados à termodinâmica;
b) físico-termodinâmico: a energia consumida é monitorada como unidades termodinâmicas, mas a saída é relacionado a unidades físicas, como peças, passageiros, produtos, etc..
c) econômico-termodinâmico: relaciona indicadores financeiros, como preços de mercados, com energia consumida no processo.
d) econômico: considera as mudanças na eficiência energética em termos monetários, sendo assim tanto a energia consumida como a utilizada de fato são medidas em termos financeiros.

O conceito de eficiência energética utilizado para medir os resultados obtidos é a relação entre a quantidade de produtos produzidos e a quantidade de energia que entra na linha de produção (HERMANN et al., 2011).

Apostolos et al. (2013) discute a eficiência energética em operações de remoção de material (usinagem). Nestes casos, a eficiência é definida como a relação entre a quantidade de material removido e a quantidade de energia utilizada. Já para uma operação de furação a laser, o conceito pode ser calculado como o quociente do diâmetro do furo pela energia

consumida. O próprio autor endossa o fato de que a definição de eficiência energética deve ser adaptada ao processo em que está sendo aplicada.

A vantagem do indicador físico utilizado por Hermann et al. (2011) e Apostolos et al. (2013) é explicada por Patterson (1996). Para o autor, este indicador se adapta para o objetivo final do usuário, que não valoriza aspectos como calor gerado no processo ou trabalho em potencial, mas sim seus aspectos físicos de volume de produção (toneladas, unidades ou metro cúbico produzidos, quilômetros rodados, peças montadas, etc.) que permitam uma análise mais apropriada do ponto de vista de linha de produção. Outra vantagem é que este indicador torna-se bem objetivo e focado nos desejos de seu usuário. É importante ressaltar, porém, que os dados físicos escolhidos se adaptam principalmente a séries temporais, simplificando as medições de produto produzido, mas continua-se com a dificuldade de mensurar a energia consumida por hora, já que muitas vezes um recurso consumidor de energia é dividido para mais de um produto.

Alguns autores afirmam ainda que o consumo de energia deve ser observado não só apenas na etapa de produção, depois que a linha já está em funcionamento, mas para que o produto final tenha o menor consumo energético possível, é necessário que todas as fases de concepção, modelagem e planejamento da linha de produção contemplem sempre o ponto de vista do consumo de energia (WANG; SELINGER, 2011).

2.3.2 Produtividade e volume de produção

Existem dois conceitos que são muito utilizados quando o assunto se refere a parâmetros de produção: produtividade e volume de produção. Apesar de diferentes, os conceitos são comumente confundidos e utilizados de forma incorreta.

Moraes e Santouro (2006) sugerem que a eficiência de uma linha de fabricação é definida como a relação da capacidade real pela capacidade ideal. Para o cálculo da capacidade real, basta observar a quantidade de peças produzidas por um determinado período de tempo, enquanto que para o cálculo da capacidade ideal, é necessário encontrar a relação inversa ao maior tempo de ciclo presente na linha.

O tempo de ciclo de um processo é definido como o intervalo de tempo médio entre a finalização de duas peças consecutivas em uma operação de fabricação ou montagem. A determinação do tempo de ciclo requer a realização de um estudo de tempos. No caso de máquinas dedicadas com abastecimento automático e máquinas de transferência, o tempo de

ciclo é medido diretamente. Entretanto, em máquinas dedicadas com abastecimento manual é necessário considerar os diversos elementos da operação.

Já para Diewert e Nakamura (2005), a produtividade pode ser medida de diversas formas, conforme o objetivo e as saídas ou variáveis escolhidas, sendo:

a) fator único de produtividade (Single Factor Productivity – SFP): representa a relação entre quantidades de saída com a quantidade de uma única entrada utilizada. Esse parâmetro pode ser adaptado para se adequar ao objetivo principal. No caso deste estudo, poderia ser utilizada a relação de energia consumida por quantidade de produtos produzidos;
b) produtividade de mão de obra (Labor Productivity – LP): representa a relação entre a quantidade de saída pela quantidade de mão de obra utilizada, por exemplo, horas trabalhadas;
c) multifator de Produtividade (Multifactor Productivity – MFP): relaciona a quantidade de saída por um valor utilizado composto por diversas variáveis.

O termo produtividade pode parecer simples de ser compreendido, porém comete-se alguns erros em seu uso. Para Tangen (2002), um erro comum é confundir produtividade com produção.

Enquanto produtividade é uma relação entre entradas e saídas, produção refere-se à quantidade de peças de saída. Muitas vezes, a produção é diretamente (e incorretamente) associada à produtividade, e as pessoas tendem a achar que melhorando um conceito, o outro também melhorará. Essa afirmação está incorreta pois para aumentar a produtividade, temos as seguintes situações:

a) entradas e saídas aumentam, porém o incremento da entrada é proporcionalmente menor do que o de saída;
b) nível de saída aumenta enquanto o nível de entrada permanece o mesmo;
c) as saídas aumentam enquanto o as entradas diminuem;
d) o nível de saída permanece constante, mas o nível de entradas é reduzido;
e) o volume de saída diminui, mas o volume de entradas diminui ainda mais.

Para este trabalho, será considerado principalmente o conceito de produção, já que muitas empresas possuem contratos firmados com clientes e precisam produzir um determinado volume de peças para honrar seus compromissos.

2.4 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA PARA TOMADA DE DECISÃO

Simulação pode ser descrita como uma técnica de solução de um problema através da análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital (PRADO, 2003).

No entanto, para Chwif e Medina (2010), existem dois tipos de simulação. O primeiro, a simulação não-computacional, utiliza de elementos físicos para estudar e comprovar determinadas situações. Por exemplo, um projetista que utiliza um túnel de vento e um protótipo em escala reduzida usa artifícios físicos para chegar ao resultado desejado. O segundo tipo, que é abordado neste trabalho, é a simulação computacional, que depende de um computador e software específico para ser realizada.

Harrell, Ghosh e Bowden (2000) definem a simulação computacional como a representação virtual de um sistema da vida real através de um modelo, tornando possível o estudo do sistema sem sua efetiva construção, ou mesmo modificar o sistema e estudar os resultados sem necessidade de sua alteração prévia.

A simulação computacional pode ser utilizada para testar previamente a implementação de novos sistemas produtivos, identificação de gargalos nos processos, teste de alternativas de mudanças, etc (OLIVEIRA, 2008).

Porém, cabe ressaltar que Chwif e Medina (2010) afirmam que para a real compreensão do termo simulação computacional, deve-se salientar que:

a) simulação não é uma bola de cristal, ou seja, não é possível prever o futuro, mas sim o comportamento de um sistema com base nas informações colocadas pelo usuário;
b) a simulação não é uma ferramenta exclusiva de otimização, mas sim uma ferramenta que auxilia no estudo de diversos cenários;
c) simulação não substitui o pensamento inteligente, o que mostra que o ser humano não pode ser substituído pelo computador durante o processo.

O uso da simulação na manufatura pode ser encontrado em diversas aplicações, como planejamento de fábrica, obtenção de melhor uso das instalações atuais, desenvolvimento de lógicas de controle, manuseio de materiais, planejamento operacional, análise de consumo de energia, entre outros.

Para a construção e implementação de um modelo de simulação, é utilizado um software especializado, no qual é realizada a experiência pretendida por um período de tempo determinado. São inseridos no programa os parâmetros necessários (por exemplo, chegadas, tempos de operação, tempos de manutenção, operadores, etc.), e podem ser construídos cenários alternativos apenas alterando-se variáveis do modelo. Os resultados são apresentados pelo software sob a forma de gráficos e tabelas, que fornecem as informações necessárias aos responsáveis pela tomada de decisão através da sua correta interpretação.

A simulação permite imitar o funcionamento de uma fábrica e realizar experiências com situações propostas. Sendo assim, com mudanças totalmente testadas e aperfeiçoadas em um modelo de simulação, a empresa reduz os riscos de implementar qualquer medida, aumentando sua confiança nos resultados que podem ser obtidos, além de uma redução de custos com a eliminação da etapa de experimentação física da mudança (ROBINSON, 1993).

Segundo Oliveira (2008), o estudo de processos através da simulação computacional apresenta como principais aplicações:

a) simulação de um sistema que ainda está em fase de projeto, antes de sua construção, para observação do comportamento operacional;
b) suporte à análise econômico-financeira de investimentos em projetos envolvendo novos equipamentos e processos;
c) teste de novas políticas e procedimentos operacionais sem interrupção do sistema real;
d) teste de condições de segurança associadas às mudanças a serem implementadas;
e) determinação e estudos de gargalos existentes no sistema;
f) determinação de como o sistema realmente opera ao invés de como as pessoas pensam que ele opera.

A aplicação da simulação nestas situações apresenta um menor custo se comparada ao custo de testes práticos, ou mesmo mudanças efetivas, que muitas vezes podem não alcançar os resultados desejados.

Banks et al. (2005) relaciona algumas razões para o uso da simulação na manufatura, em detrimento de outras alternativas:

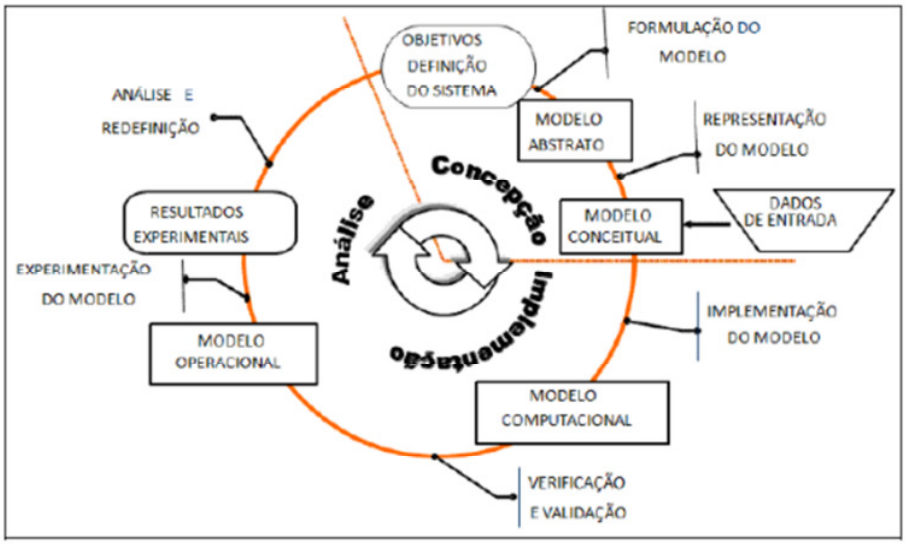
a) alto custo com equipamentos e instalações, que impedem a realização de experimentos reais;
b) custos com computadores e softwares têm diminuído, enquanto a eficiência e capacidade desses recursos têm aumentado;

c) a atual complexidade dos sistemas e processos de manufatura, gerada principalmente pelo uso da automação, permitem análise precisa apenas através do uso da simulação;

d) a visualização prévia do ambiente a ser implementado permite aos envolvidos o rápido entendimento do processo em implantação.

Chwif e Medina (2010), apresentam um modelo de criação de modelos e análise que consiste em três fases: concepção, implementação e análise. Em cada fase, algumas atividades são descritas como essenciais para o bom funcionamento da aplicação do método, como vistos na figura 2.

Figura 2 - Modelo de Metodologia de Simulação



Fonte: Chiwif e Medina (2010)

Na fase de concepção, é realizada a formulação e a representação do modelo, através da definição dos objetivos do sistema. A partir da definição dos objetivos do sistema, é feita a formulação do modelo, gerando um modelo abstrato, e depois refinado com base nos dados de entrada, criando então um modelo conceitual. Ao fim desta etapa, deve-se ter um modelo que possa ser compreendido por outras pessoas envolvidas no projeto, com técnicas de representação de modelos de simulação (CHWIF; MEDINA, 2010).

Na etapa seguinte, de implementação, é gerado o modelo conputacional via software de simulação. Em seguida, o modelo computacional deve passar por uma verificação e validação, que consiste em comprovar que o modelo conceitual foi corretamente traduzido em

modelo computacional e se reflete precisamente a realidade (com base nos objetivos já estipulados).

Chwif e Medina (2010), explicam ainda que na terceira e ultima etapa, chamada de análise, o modelo operacional está pronto para ser utilizado, e que com a realização de experimentos, passar a ser denominado de modelo operacional. Neste momento é feita a análise das experimentações e a documentação do resultado.

É importante ressaltar que o sucesso da metodologia depende diretamente da qualidade das informações utilizadas para alimentar o modelo, e que também são necessários alguns retornos na aplicação do método, para que possam ser realizados ajustes no modelo e que este atenda perfeitamente aos objetivos definidos (CHWIF; MEDINA, 2010).

Já para a empresa Belge, distribuidora nacional do software de simulação ProModel®, existem alguns motivos que podem levar ao fracasso da simulação:

a) falta de objetivos claros;
b) falta de documentação adequada dos dados de entrada;
c) inclusão de mais detalhes que o necessário;
d) inclusão de variáveis com pouco ou nenhum impacto no modelo;
e) verificação e validação do modelo inadequadas.

Para este estudo, o software escolhido foi o ProModel®. A escolha do software deu-se em razão de conhecimento prévio através de treinamentos e utilização anterior.

Para a criação de um modelo através do ProModel®, os dados são inseridos em diferentes formas e categorias.

Primeiramente, insere-se os “locais”, que representam os lugares onde os objetos vão para que as operações sejam realizadas. Os locais podem ter capacidade única, como uma máquina, ou capacidade múltipla delimitada pelo usuário, como um estoque ou esteira.

Depois, as “entidades” são criadas, sendo o elemento que sofre ação do sistema. Uma peça que é processada, uma caixa que é embalada ou até um documento que é processado. A entidade deve ser sempre aquilo que passa pelo sistema e é trabalhada.

As “chegadas” também são importantes, já que representam em que momento da simulação, recorrência e quantidade as entidades entrarão no sistema.

Os “processos” são criados em cada local, e mostram o que deve ser feito com a entidade e quando e como a entidade entra e sai do local para o seu próximo destino. Nesta etapa, comandos lógicos são utilizados para demonstrar as atividades. Por exemplo, cria-se um processo em determinado local, com o comando “wait 5 min”. Isso quer dizer que quando

a entidade chegar no local, ela esperará por 5 minutos, sendo esse tempo considerado como processamento da entidade.

Existe também o chamado “recurso”. Este especifica por meio de qual recurso a entidade é movida através do sistema, como por exemplo, operadores, empilhadeiras, etc.

Cada recurso passa pela chamada “rede de caminho”, que é o caminho que o operador faz, ligando cada ponto a um local. Dessa forma, é possível inserir no modelo as ditâncias percorridas pelo recurso até determinado ponto, e visualmente ele irá aparecer apenas onde é designado.

Outros dados podem ser inseridos, como paradas programadas, tempo de simulação, imagem de fundo, criação de variáveis que são alteradas conforme andamento do sistema, entre outros. É possível também criar arquivos externos que alimentem a simulação, por exemplo, colocando as chegadas em um arquivo excel, facilitando qualquer alteração que seja e o registro das informações utilizadas.

Com as informações básicas inseridas no modelo, é possível executá-lo por um determinado período de tempo, data pré-determinada ou outra lógica de término criada pelo usuário.

Com base no relatório final exibido, pode-se avaliar o modelo com base em utilização e quantidade de recursos, locais, tempos, entre outras informações geradas automaticamente.

É importante ressaltar que a análise final do modelo criado depende do especialista, já que a simulação fornece recursos para tomada de decisão, e não uma solução pronta.

2.5 ESTUDOS DE CONSUMO E REDUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Seguindo as tendências recentes, as indústrias manufatureiras dispendem seus esforços principalmente em monitorar a produtividade em tempo real, reduzir tempo não produtivo dos recursos, melhorar a eficiência de etapas gargalo, otimizar o manejo de materiais e estoques, etc. Um tema que tem crescido é o controle de energia elétrica consumida nos processos bem como de ações para reduzir seu consumo.

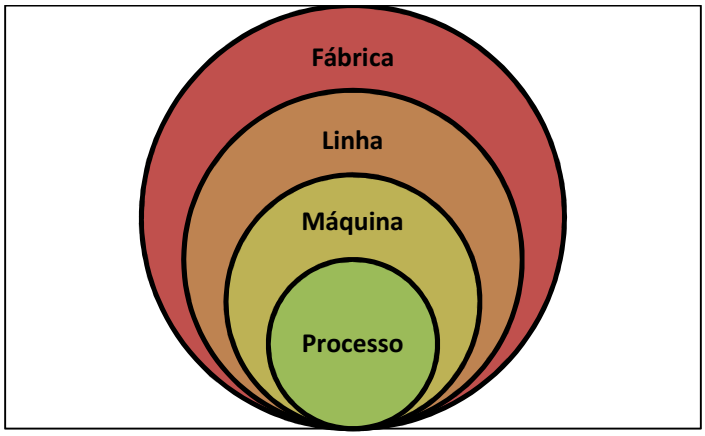
A preocupação em estudar-se as formas de controlar o consumo de energia elétrica, criando metodologias produtivas mais eficientes do ponto de vista energético tem sido estudada no meio acadêmico, mas ainda pouco aplicada no meio produtivo. Conforme Chang et al. (2013), o consumo de energia elétrica não recebe a devida atenção quanto ao seu papel

na manufatura. Os autores afirmam também que toda planta manufatureira é considerada um recurso e deve ser tratada como tal, analisando seu consumo de energia e com o desafio adicional de gestão das operações produtivas.

O desconhecimento da indústria manufatureira quanto às formas de reduzir o consumo de energia elétrica ainda é elevado, o que tem levado à criação de diversas empresas, como a Uberest Energia, que tem por objetivo fazer a gestão energética da empresa, fazendo estudos e consultorias sobre como reduzir o uso de energia sem alterar a qualidade do produto ou diminuir o conforto dos seus colaboradores e clientes, atuando na eficiência energética das instalações e na gestão de infraestrutura. São expostas também medidas do uso de tecnologias limpas, projetos e metodologias energéticas, reduzindo o real consumo. (UBEREST ENERGIA, 2015)

Com o objetivo de estudar o consumo energético, independente da ferramenta adotada, deve-se sempre verificar qual o escopo que está sendo considerado, pois existe diferentes níveis de análise possíveis (APOSTOLOS et al., 2013), cada um com suas particularidades em termos de visão, conceito, recursos e detalhamento dos equipamentos. Pode-se dividir o ambiente da manufatura em 4 níveis com características distintas: processo, máquina, linha e fábrica. É importante salientar que os níveis começam de forma específica (processo) e vão abrangendo cada vez mais itens, até chegar no nível fábrica, porém ampliando o escopo dos itens analisados e, ao mesmo tempo, diminuindo a profundidade dos detalhes. A figura 3 mostra como os níveis se englobam.

Figura 3 – Níveis de análise de consumo energético



Fonte: Autor “adaptado de” Apostolos et al., 2013

O nível mais restrito, chamado de ‘processo’, analisa o aspecto energético dentre os mecanismos físicos de uma parte especifica do processo. Neste nível são analisados o consumo de energia de cada componente da máquina, como o motor, processador, tela LCD para controle, entre outros.

Já o nível ‘máquina’ contempla todo o nível anterior, além dos periféricos envolvidos. Neste nível, observa-se o consumo da máquina e seus periféricos. A máquina é considerada uma “*black box*”, ou seja, não são considerados todos os seus detalhes de funcionamento de forma minuciosa. No entanto, são considerados, por exemplo, o sistema de ventilação de um equipamento, o sistema de lubrificação, etc.

O nível ‘linha’ observa a linha de produção como um todo. Ou seja, o consumo de energia e demais aspectos serão mensurados e analisados de forma ampla, sem entrar no detalhe de cada processo, porém considerando o todo da produção de um determinado item ou família de itens.

O nível denominado ‘fábrica’ é o mais amplo e generalizado de todos, englobando todos os possíveis recursos consumidores de energia dentro da planta industrial, como iluminação, sistema de exaustão geral, e qualquer outro recurso que necessite de energia e tenha como objetivo o escopo inteiro do ambiente produtivo.

Para cada nível, é necessário um tipo de análise, coleta de informações, e interpretação de dados e resultados de forma única e diferente dos demais níveis. Cada um, no entanto, contempla suas vantagens e desvantagens, que devem ser observadas para escolher o nível de análise apropriado.

Apostolos et al. (2013) citam algumas vantagens ao observar o nível ‘processo’. Os autores afirmam que a primeira vantagem ao se fazer análises neste nível é que propiciam um entendimento profundo da real situação energética, já que entra no detalhe do processo e não apenas no consumo final da planta. Porém, monitorar o detalhe de cada pequeno componente é uma tarefa árdua e que pode gerar mais custos caso os resultados não sejam trabalhados de forma correta e aplicados para redução de consumo.

Outra vantagem citada é a facilidade maior de se criar e ajustar parâmetros específicos, e que esses gerarão impactos benéficos no nível máquina. Por exemplo, regulando corretamente a velocidade de uma ferramenta conforme o necessário na produção, o sistema de exaustão terá que trabalhar menos pois será gerado menos calor, ou seja, o consumo total de energia tende a cair. É importante ressaltar que para que isso ocorra, deve-se obedecer à

demanda que deve ser produzida, já que o tempo de ciclo é a consequência que servirá como informação de entrada para os ajustes de parâmetros.

Além da divisão em níveis, conforme o tipo de estudo que se queira fazer, existe a necessidade de se identificar qual a origem do consumo de energia elétrica pela máquina máquina, processo ou planta, a fim de entender se este consumo é inerente à produção, se é exigido apenas quando há de fato a transformação da matéria prima em produto, ou se é comum a todas as linhas e setores de uma determinada planta.

Seow e Rahimifard (2011), ao estudarem a energia consumida por cada peça em uma linha de produção de diversos produtos, sugerem a divisão da energia em indireta e direta, com mais uma subdivisão nesta última, sendo:

a) direta: energia consumida para a produção de determinado produto em um equipamento ou processo:

   -TE: energia teórica, mínimo necessário para executar a atividade do equipamento;

   - AE: energia auxiliar, necessária para manter o ambiente propício para execução das atividades de produção, como aquecimento, iluminação e ventilação de cada equipamento. Inclui também a energia consumida para atividades não-produtivas, como espera, equipamento ligado sem estar operando, limpeza e troca de ferramentas.

b) indireta: energia consumida entre os diversos processos e equipamentos para condições gerais de produção, como iluminação e ventilação da planta, limpeza de uma determinada sala, etc..

Apesar do monitoramento do consumo de energia ter provado ser cada vez mais necessário, ainda existem dificuldades para implementação dessa prática (GIACONE; MANCÒ, 2012). As dificuldades variam em decorrência do tamanho da empresa, dos equipamentos necessários, do conhecimento da equipe e do real objetivo em se reduzir o consumo de energia.

A variedade de processos e complexidade das plantas manufatureiras, assim como a grande variedade de produtos prejudica a interpretação de entrada de energia no sistema e energia aproveitada pelo processo. Além disso, comparar eficiências energéticas entre diferentes plantas, processos ou períodos pode prejudicar as interpretações e resultados, já que as condições de contorno das medições devem ser sempre bem delimitadas e nem sempre podem ser reproduzias. Outro fator negativo é que são necessários equipamentos específicos

para análise de consumo de energia, e estes muitas vezes são custosos e requerem profissionais capacitados para a interpretação dos dados.

Apesar de também custosa, a simulação pode ser aplicada em diversas partes dentro da empresa, não sendo apenas um equipamento de uma única operação, por exemplo.

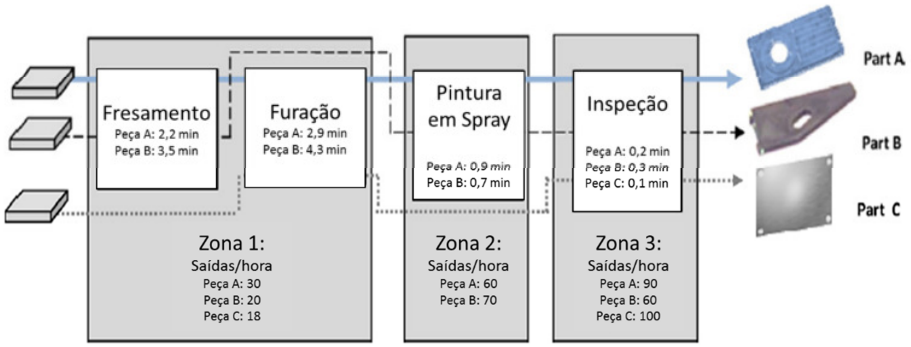
2.5.1 Simulação Computacional no estudo de consumo de energia

Existem diversas ferramentas que podem ser utilizadas para estudos de consumo de energia em uma determinada linha de produção, planta ou processo.

Para escolher qual método de análise é o mais adequado para estudos de redução de consumo de energia, Hermann et al. (2011) avaliou diversos critérios, possibilidade de conduzir experimentos de otimização de resultados, resultados que permitissem análises econômicas, ecológicas e/ou técnicas, e também a questão da facilidade de usabilidade das ferramentas, visualização, adaptabilidade para diferentes cenários, etc. Entre os métodos utilizados estavam estatística, redes neurais artificiais, lógica *fuzzy* e sistemas de simulação de manufatura, sendo que este último obteve a melhor pontuação dentro as ferramentas analisadas para o referido caso, mostrando ser a melhor ferramenta para ser utilizada.

Um claro exemplo de aplicação da ferramenta foi elaborado por Seow e Rahimifard (2011), que utilizam o software Arena® para simular o consumo de energia e produtividade de um processo dividido em 4 operações, com 3 produtos diferentes, sendo que apenas um deles passa por todas as operações. Os autores dividiram o processo em zonas e calcularam a energia direta e indireta por operação, assim como a produtividade da zona, o que permitiu ao fim o estudo entender quanto de energia foi utilizado para fazer cada peça. Neste mesmo trabalho, os autores sugerem como próximos estudos a adoção de cenários *"what-if"* para verificar qual a melhor hipótese relacionada ao consumo de energia por produto.

Figura 4 - Simulação de consumo de energia durante a manufatura



Fonte: Seow e Rahimifard, 2011

Os autores alegam ainda que a escolha da simulação ocorreu devido a sua facilidade de alterar os parâmetros para diversos produtos, capacidade de se expandir ou reduzir o escopo da análise sem muitas alterações no modelo já feito, além da possibilidade de se incluir no estudo informações sobre lotes, *lead times* e tempos de espera.

2.5.2 Hipóteses para redução de consumo de energia

É comum ver a ferramenta de sequenciamento de produção como uma das principais hipóteses para reduzir o consumo de energia. Para Chang et al. (2013), porém, os estudos que utilizam esses princípios não abrangem a interdependência entre máquinas e processos, utilizando rotineiramente 2 máquinas e um buffer apenas. Para sanar essa lacuna nos estudos, os autores propõem algumas premissas, dentre as quais:

a) todas as máquinas interdependentes no processo possuem um buffer intermediário, com capacidade limitada;
b) o maquinário opera com tempo de ciclo constante, porém possui paradas não planejadas aleatórias (downtime);
c) ao ligar ou desligar um equipamento, considera-se o custo de energia associado ao demais recursos, como gás, óleo, etc., mostrando o consumo energético total do equipamento.

Hermann et al. (2011) corrobora este fato ao comentar em seu estudo que as considerações individuais de cada máquina são necessárias, porém não suficientes para fornecer uma visão geral da situação de consumo de energia na manufatura.

O mesmo autor, apresenta um estudo sobre métodos de economia de energia em uma linha de fundição. A linha criada é teórica e com alto grau de automatização. Foram consideradas 3 células paralelas de fundição que alimentam dois centros de usinagem. Após, cada parte processada segue para a estação de jateamento e depois para embalamento.

De posse do modelo conceitual, foram criados cenários e hipóteses para serem simulados. Os resultados de cenários criados têm como objetivo avaliar se houve redução no consumo de energia e impactos na produtividade. Suas hipóteses giram em torno de criações

de lotes de 10 unidades ao invés de fluxo de peças únicas, desligamento automático de equipamentos que não estão sendo utilizados, e a combinação de outras hipóteses.

Os resultados podem ser vistos na tabela1, onde o conceito de eficiência energética é apresentado como indicador do resultado final da simulação.

Tabela 1 - Resultado de simulação de eficiência energética em uma linha de fundição

Cenário	Descrição	Consumo de energia	Produção	Eficiência energética
A	Cenário Base	100%	100%	100%
B	Lotes com 10 unidades para a estação de jateamento e desligamento entre cada lote	92%	95%	103%
C	Apenas duas máquinas de fundição	70%	89%	126%
E	Desligamento automático para jateamento, embalamento e usinagem quando sem atividades	98%	100%	103%
F	Combinação de B + C + E	62%	81%	130%
B*	Tamanho de lote otimizado para jateamento (4 unidades)	93%	101%	109%

Fonte: autor “adaptado de” Hermann et al., 2011

Já Hermann e Thiede (2009) apresentam um estudo em uma empresa de componentes automotivos, que possui uma demanda específica e duas linhas idênticas para atendê-las. As estratégias variam entre sincronizar as linhas, funcionar com apenas uma, ou até mesmo com apenas determinados equipamentos. Foram testados também lotes com tamanhos diferentes. Os cenários estão apresentados na tabela 2. Para o cenário S9*, foi considerado um custo de menor de energia elétrica.

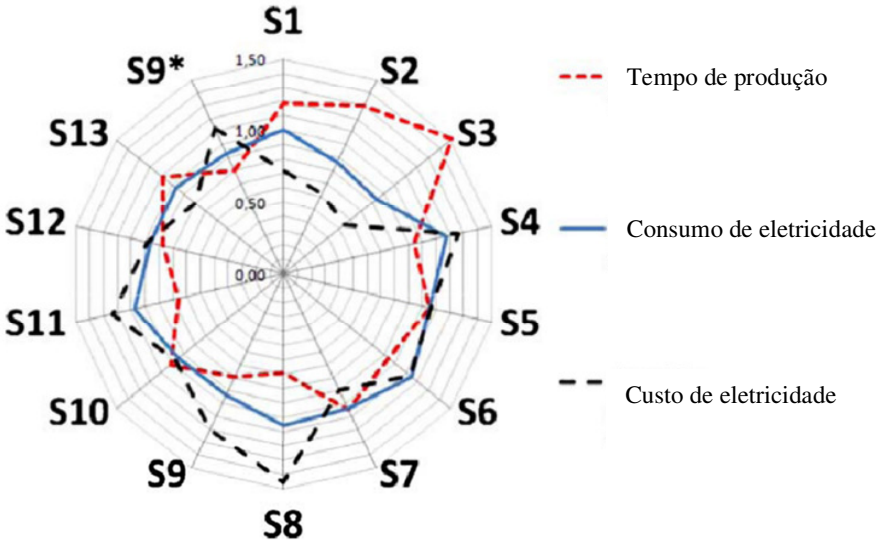
Tabela 2 - Cenários simulados por Hermann e Thiede (2009)

Cenário	Quantidade na Linha 1	Quantidade na Linha 2	Tamanho do lote	Assíncrona
S1	0	200	25	N
S2	0	200	50	N
S3	0	200	100	N
S4	50	150	25	N
S5	50	150	50	N
S6	50	150	25	S
S7	50	150	50	S
S8	100	100	25	N
S9	100	100	50	N
S10	100	100	100	N
S11	100	100	25	S
S12	100	100	50	S
S13	100	100	100	S
S9*	100	100	50	N

Fonte: Autor “adaptado de” Hermann e Thiede, 2009

Os resultados obtidos mostram o tempo de produção, o consumo de eletricidade, e o custo por mês. É possível ver que um alto tempo de produção pode levar a um baixo consumo por mês, mas não necessariamente vai atender a demanda solicitada. Por outro lado, em outros cenários houve tempos de produção semelhantes, mas com grandes diferenças no consumo e custo de energia. Os resultados estão apresentados na figura 5.

Figura 5 - Resultados dos cenários simulados por Hermann e Thiede (2009)



Fonte: autor "adaptado de" Hermann e Thiede, 2009

Já Langer et al. (2014) testam a hipótese de redução de consumo de energia em uma linha de fabricação de carrocerias de veículos de passeios, com a regra de que as máquinas devem ser desligadas em intervalos de produção, folgas, turnos livres ou qualquer outro período que não contemple produção.

A simples medida gerou como resultado a economia de 23,67% no consumo energético, ou o equivalente a 2.347.052kWh.

2.5.2.1 Hipóteses de Mouzon, Yildirim e Twoney (2007)

Mouzon, Yildirim e Twoney (2007) desenvolveram um trabalho cujo objetivo principal é a criação de regras de produção que favoreçam a economia de energia, analisando o impacto na produtividade (tempo total para completar o pedido).

Para os autores, um método estocástico pode ser utilizado quando o intervalo entre as chegadas (γ) é conhecido. Quando a próxima chegada é conhecida, é possível tomar a decisão de usar as regras de sequenciamento (chamadas pelos autores de regras de expedição) ou usar um modelo multi-objetivo para conciliar a produtividade e o consumo de energia.

Um ponto importante apresentado é que, na situação proposta pelos autores, existe a criação de um "*controller*", um aparelho acoplado ao equipamento que seria capaz de identificar quando a máquina deveria ser ligada ou desligada, com base no histórico de chegadas e demais informações embutidas na programação.

Os autores dividem o consumo de energia em quatro tipos distintos:

a) energia consumida para ligar o equipamento;
b) energia consumida durante a manufatura e processamento da peça;
c) energia consumida durante o período de espera do equipamento;
d) energia consumida para desligar o equipamento.

Ao se analisar apenas o consumo de energia, deve-se decidir entre deixar a máquina ligada (em espera) ou desligá-la por um certo período de tempo. Para tomar esta decisão, os autores se baseiam no ponto de equilíbrio de duração S, ou seja, qual o tempo necessário para que a energia consumida para desligar a máquina e religá-la seja igual ao consumo de energia em espera.

$$\mathrm{S} = \frac{\text{Energia para desligar e ligar a máquina}}{\text{Energia consumida durante o período de espera do equipamento (por unidade de tempo)}} \tag{1}$$

Considerando t_{off} como o tempo necessário para desligar e então ligar a máquina, quando $\gamma \geq \max(S, t_{off})$, a máquina pode ser desligada por um certo período de tempo. Essa é a lógica que origina todas as demais regras propostas pelos autores.

As primeiras regras do sequenciamento (que regem o ligar e desligar dos equipamentos) recebem o nome de DRMEC (Dispatching Rules to Minimize Energy Consumption).

Para tal, o autor considera que não há lotes e adota três premissas básicas:

a) não há peças esperando na fila;
b) existe tempo suficiente para desligar e ligar a máquina antes que a próxima peça chegue para ser processada;
c) o consumo total de energia em período de espera é maior que a energia para reiniciar a máquina.

A DRMEC1 relaxa a segunda condição, assumindo que não há a necessidade de se processar a peça assim que ela chega no equipamento ou estação, dessa forma, é possível verificar se é vantajoso deixar a peça na fila ao invés de começar o seu processamento.

Além disso, essa condição apresenta o limite inferior de energia consumida e tempo necessário para processar todas as peças.

Já para a DRMEC2a, assume-se que não se conhece quando as peças irão chegar, porém a distribuição e os parâmetros das chegadas são sabidos. Nessa condição, a máquina ou equipamento só poderá ser desligada por um intervalo de tempo λ se:

a) não há peças esperando na fila;
b) tempo entre chegadas (λ) é menor que o tempo necessário para reiniciar o equipamento;
c) energia para manter o equipamento em espera por λ minutos é maior que a energia gasta para reiniciar o equipamento.

DRMEC2a consome pelo menos a mesma quantidade de energia que DRMEC1, mas apresenta o limite inferior com falta de informações precisas sobre as peças.

No caso da distribuição do intervalo de chegadas ser exponencial, ao invés de ligar a máquina quando não se tem peça esperando, espera-se por um novo intervalo λ, ou seja, o equipamento só será religado quando houver uma nova peça para processamento disponível. Essa condição é chamada de DRMEC2b.

A terceira variante é similar a DRMEC2a, porém ao invés de usar a média da distribuição no processo de decisão, utiliza um intervalo de confiança α% em peças sem informações de chegadas, e é denominada portanto DRMEC2c.

Para o terceiro conjunto de hipóteses, divididos em DRMEC3 a, b e c, os autores consideram que a distribuição de chegas é conhecida, porém não se sabe quais são os seus parâmetros, que devem ser estimados. Para isso, os autores propõem a utilização de um controlador que faça o cálculo dos parâmetros conforme as chegadas ocorrerem, de forma dinâmica.

A DRMEC3a assume que quando há peças prontas para serem trabalhas, e o tempo estimado ($\hat{\lambda}$) é maior que o ponto de equilíbrio (S), a máquina é desligada até que a próxima peça esteja disponível.

A variante DRMEC3b é similar a DRMEC2b, porém com parâmetros estimados, ou seja, considera $\hat{\lambda}$ como tempo de parada.

Já a última variante proposta pelos autores, DRMEC3c é similar ao DRMEC2c, baseando-se em um intervalo de confiança.

Os autores ainda propõem a criação de pequenas filas para que as peças possam ser processadas. Nas outras regras, a formação de filas pode acontecer com base nos tempos entre chegadas e nos tempos de processamento, porém no 4º conjunto de regras, os equipamentos são ligados apenas com um certo número de peças prontas para serem trabalhadas (lotes) e serão desligadas apenas quando a fila estiver sem peças, dando início à formação de uma nova fila até atingir o tamanho do lote determinado.

A regra DRMEC4a considera o tamanho do lote de espera de 2 unidades, e a DRMEC4b, 3 unidades.

Um resumo das 4 regras propostas e suas variantes pode ser visto no quadro 2.

Quadro 2 - Regras de mudança de estados

Regra de Sequenciamento	Tempo do equipamento desligado	Tamanho de Lote (Fila)	Chegadas	
			Distribuição	Parâmetros
Sem regra	Sem desligar	-	-	-
DRMEC1	Sem tempo definido	-	Exponencial	-
DRMEC2a	Tempo entre chegadas (λ)	-	Exponencial	Conhecidos
DRMEC2b	Até a próxima chegada	-	Exponencial	Conhecidos
DRMEC2c	Base em intervalo de confiança	-	Exponencial	Conhecidos
DRMEC3a	Até a próxima chegada	-	Exponencial	Desconhecidos
DRMEC3b	O tempo estimado entre chegadas ($\hat{\lambda}$)	-	Exponencial	Desconhecidos
DRMEC3c	Base em intervalo de confiança	-	Exponencial	Desconhecidos
DRMEC4a	Tamanho máximo do lote	2	Exponencial	-
DRMEC4b	Tamanho máximo do lote	3	Exponencial	-

Fonte: autor "adaptado de" Mouzon, Yildirim e Twoney, 2007

Para o experimento, o autor utiliza:

a) quantidade de peças a serem processadas: n =100, n =200 e n =300;
b) tempo de processamento de cada peça: p=5 segundos, p=10 segundos e p= 15 segundos;
c) tempo médio entre chegadas: λ=6,25 segundos, λ=12,5 segundos e λ=18,75 segundos;
d) potência do equipamento em espera: 1hp;

e) potência do equipamento durante *setup* (ligar e desligar a máquina): 5hp.segundo;

f) 10 simulações para cada condição;

g) distribuição exponencial.

É possível observar que os autores não fornecem todas as informações para uma reprodução das simulações, como por exemplo, o tempo considerado para fazer o setup (desligar e ligar o equipamento), o consumo de energia durante o processamento, esperas entre o processamento com máquina ligada para alguma eventual ação de operador, entre outras.

Os resultados obtidos estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados das regras de mudanças de estados.

	n = 100		n = 200		n = 300	
Regra	Tempo para completar o lote (seg.)	Consumo de energia total (hp)	Tempo para completar o lote (seg.)	Consumo de energia total (hp)	Tempo para completar o lote (seg.)	Consumo de energia total (hp)
Sem regra	1456,9	446,0	2887,5	886,7	4307,8	1333,9
DRMEC1	1456,9	125,6	2887,5	236,6	4307,8	361,0
DRMEC2a	1459,4	263,6	290,2	503,4	4310,3	780,0
DRMEC2b	1460,7	112,7	2891,5	210,6	4311,8	318,9
DRMEC2c	1458,7	279,6	2889,4	534,8	4309,5	829,5
DRMEC3a	1459,3	270,1	2890,1	513,2	4310,1	777,9
DRMEC3b	1460,2	124,6	2891,3	225,2	4311,4	336,1
DRMEC3c	1459,4	273,9	2890,0	530,6	4310,1	812,3
DRMEC4a	1464,8	64,0	2895,5	119,3	4316,2	1283,4
DRMEC4b	1468,6	45,4	2898,9	83,7	4321,5	130,8

Fonte: autor "adaptado de" Mouzon, Yildirim e Twoney, 2007

As conclusões obtidas no resultado experimental mostram que há um potencial de redução energia significativo quando $\lambda > p$, podendo chegar a um valor de até aproximadamente 76%, dependendo da condição simulada. Importante ressaltar que este potencial refere-se ao que o autor chama de "energia desperdiçada", que compreende a energia consumida em setups e em períodos de espera.

Outra conclusão obtida é que $\lambda > p$ pode indicar que a máquina não é gargalo da produção, ou seja, o índice de utilização do equipamento não é alto e a máquina nem sempre está em operação, e por isso, os autores indicam que o algoritmo criado tem maior potencial de redução de energia quando aplicado nestes casos.

Já para os casos onde o tempo de processamento (p) é maior que a tempo entre chegadas (λ), o equipamento praticamente não fica em estado de espera e a formação de fila é inevitável. Mesmo assim, as regras propostas geraram até 43,1% de redução no consumo de energia de setup e máquina ligada sem operar (espera), porém nos casos apresentados, esse valor era menos que 2% do total de energia consumida no processamento.

Para os casos onde os lotes são impostos (filas), o tempo total para completar o processamento de todas as *n* peças aumenta. Porém, a energia desperdiçada reduz drasticamente, já que a máquina não fica em espera em nenhum momento.

De forma geral, os autores apontam que:

a) as regras propiciam ganho quanto à redução de consumo de energia elétrica;
b) o ganho está diretamente atrelado ao tempo entre chegadas e ao tempo de processamento das peças, assim com o ponto de equilíbrio S;
c) quanto menor o tempo para *setup*, preparação da máquina (período de aquecimento) e taxa de utilização, maior o potencial de ganhos;
d) casos de equipamento com alto tempo de preparação e consumo (como fornos industriais) não gerariam retorno com a utilização das regras propostas.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para a realização do trabalho, foi escolhida uma linha de produção com 3 máquinas. Essa escolha ocorreu observando um comum desbalanceamento das linhas produtivas, que possuem sempre uma máquina gargalo. Além disso, poucos trabalhos vistos na bibliografia pesquisada para este estudo consideravam mais do que 2 equipamentos. Dessa forma, as regras avaliadas poderão ser testadas em situação antes e depois do gargalo produtivo.

Realizar este tipo de estudo de forma prática em qualquer linha de produção, com diversos cenários e regras, pode gerar um impacto direto na produtividade (de forma negativa, como perda de produção), além de envolver treinamento direto de funcionários e demais equipes como manutenção e supervisão. A simulação computacional surge como uma alternativa para estes problemas, minimizando o custo e possibilitando avaliação prévia dos resultados esperados antes da implementação prática de qualquer medida.

Para a elaboração do modelo de simulação computacional, foi utilizado o software ProModel®, indicado principalmente para o uso em manufatura. O software permite a modelagem do sistema e fornece um relatório detalhado, com as principais informações necessárias para a análise. Outra vantagem é a possibilidade de realizar contagens de variáveis, assim como cálculos dinâmicos durante a execução da simulação. Apesar de não ter um módulo específico para consumo de energia, os relatórios fornecem detalhes de tempos e produtividades de todos os estados dos equipamentos, necessitando apenas de contas simples para que o consumo de energia seja calculado. O software possui uma interface gráfica adequada, permitindo visualizar o que está acontecendo na simulação, além da possibilidade de rodar diversos cenários.

A escolha do software levou em conta também o conhecimento prévio de sua utilização, bem como manuais disponíveis com códigos de programação e modelos existentes disponíveis publicamente na internet.

As simulações realizadas tiveram seu escopo bem definido e detalhado, permitindo que fossem avaliados todos os critérios de tomada de decisão.

Com base no estudo feito por Mouzon, Yildirim e Twoney (2007), foi possível verificar que os únicos aspectos considerados pelos autores como entradas de informações foram:

a) tempos de processamento (distribuição);

b) tempos de chegadas (distribuição);

c) existência ou não de filas.

É importante ressaltar que os autores citados não especificam todos os valores de contorno para que os testes possam ser reproduzidos.

Além das características supracitadas, foram consideradas outras características de uma linha de produção, como o objetivo de aproximar o trabalho de um ambiente real, para que este possa ser aplicado por empresas que optem por melhorar a eficiência energética de suas indústrias.

Considerando que linhas de produção possuem também conter trabalho manual, em ao menos duas operações (abastecimento e desabastecimento), existem pontos relacionados aos operadores que devem ser verificados, como:

a) existência de operações manuais, como carregamento de estações, retirada de peças, ajustes de máquinas, etc., bem como a distribuição para realização dessas atividades;

b) turnos de trabalho, incluindo eventuais paradas de descanso e intervalos e regras para troca de turno (como por exemplo, passar o turno com a máquina ligada e operando);

c) deslocamento dos operadores para reiniciar os equipamentos quando necessários.

Do ponto de vista dos equipamentos, as informações contemplam o consumo de energia quando estiverem ligados (operando e em espera), pico de energia para desligar e ligar, bem como os tempos relacionados. Para cada equipamento, foi calculado o ponto de equilíbrio S, apresentado na equação 1, que mostra o tempo necessário para que a energia consumida para desligar a máquina e religá-la seja igual ao consumo de energia em espera.

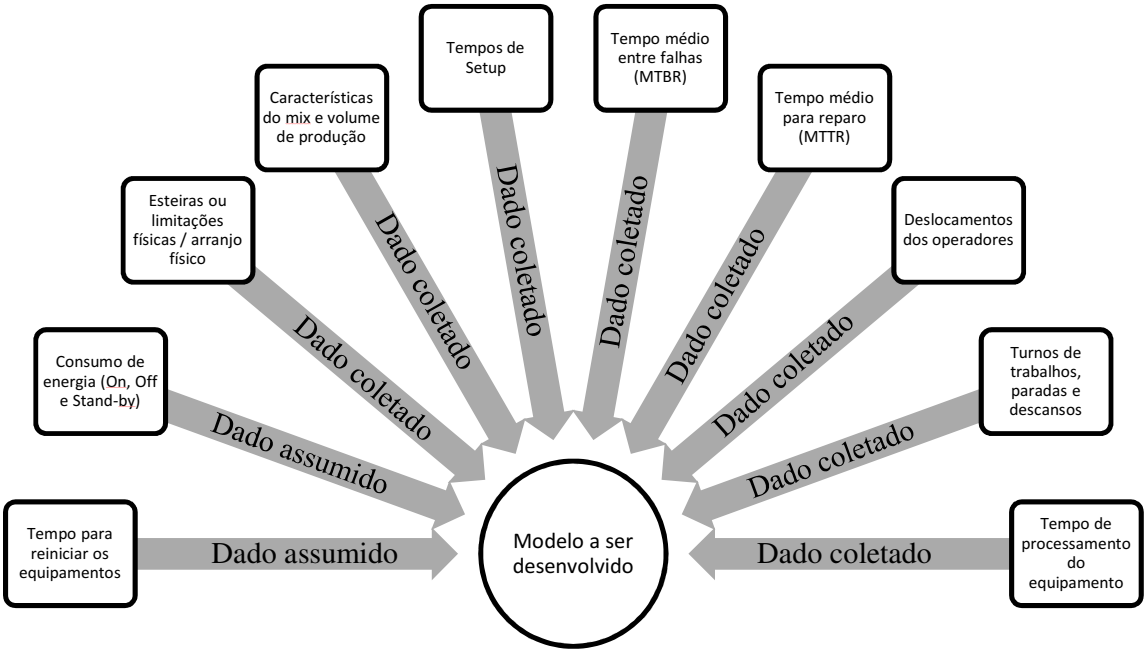
Por fim, o último aspecto a ser considerado foi a utilização de estoques intermediários, que deve ser impactada por esteiras ou limitações de espaços físicos.

Devem ser analisados também dois pontos de produção distintos, sendo o equipamento imediatamente antes da máquina gargalo e a operação imediatamente depois da máquina gargalo, já que o primeiro pode sofrer interferência caso o estoque da máquina gargalo esteja completo, e o segundo possui um ritmo de produção cadenciado pela máquina gargalo.

O trabalho buscou usar informações de fatos reais, coletados na linha de produção, porém nem todos os dados estão disponíveis. Dessa forma, algumas informações e dados foram definidos pelo pesquisador com base em pesquisa, experiências e conversas com pessoas qualificadas da área.

As informaçãoes e dados coletados ou assumidos para que o modelo de simulação e a análise possam ser feitos, estão apresentados na Figura 6:

Figura 6 – Informações coletadas ou definidas para o desenvolvimento do modelo de Simulação Computacional



Fonte: Autora

3.2 DADOS DO MODELO

Em um ambiente produtivo, experimentar alternativas de mudanças que possam contribuir para melhorias objetivadas, via de regra, é demorado, custoso, normalmente traz perda de produção e muitas vezes não traz o resultado esperado. Para aplicar o estudo proposto diretamente na própria linha de produção, alguns cuidados deveriam ser tomados, como:

a) autorização expressa da diretoria de produção de agregados para a realização do estudo;
b) instalação de medidores de consumo de energia nos equipamentos;
c) treinamento dos funcionários para cada cenário e/ou modificação sugerida;

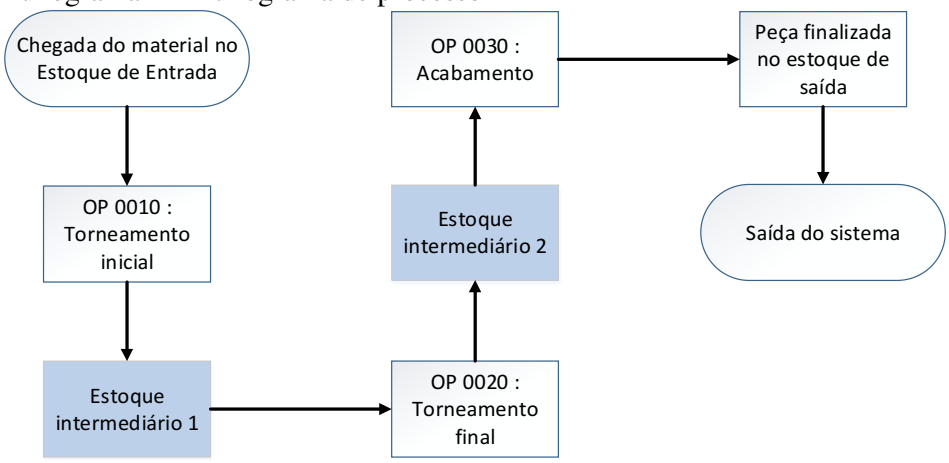
d) considerar nos indicadores da empresa o tempo de testes como não produtivo (tanto para recursos físicos quanto humanos);
e) acompanhamento do engenheiro responsável pela produção;
f) acompanhamento do responsável da manutenção da referida linha de produção;
g) alocar todos os recursos de forma a não comprometer a demanda da empresa.

Tendo em vista os cuidados necessários, confirma-se que a simulação computacional é percebida como recurso ideal para o estudo proposto, evitando as dificuldade citadas anteriormente.

Em um modelo de simulação, a qualidade final do estudo depende diretamente da qualidade de seus dados de entrada. Neste aspecto, uma importante ressalva deve ser feita referente a aquisição de dados: o fato da empresa estar em um regime de redução de jornada, e com diversas paradas de produção, aliado à sobrecarga no departamento de eficiência energética, inviabilizou a medição do consumo de energia nos equipamentos e a investigação de outros dados. Além disso, como são poucos os equipamentos já mapeados, não havia nenhuma célula de produção com as característcas desejadas com os dados de consumo já disponíveis. Dessa forma, algumas informações são claramente assumidas, e utilizadas em conjunto com as informações reais coletadas diretamente na célula de produção, porém foram validadas por especialistas da empresa.

Observando o escopo do produto, é necessário entender o processo de fabricação do componente em questão. Neste caso, o processo possui 3 operações, intercaladas com estoques intermediários, conforme fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Fluxograma de processo



Fonte: Autor

A operação 0010, de torneamento inicial, faz uma primeira etapa de desbaste no produto, conforme característica de cada modelo. A operação OP 0020, termina com o desbaste, e a operação OP 0030 faz o acabamento final. Entre cada operação, a peça vai para um estoque intermediário. Nenhuma das operações necessita do operador durante todo seu tempo, sendo apenas necessário que ele insira e posicione a peça, e retire-a ao fim da operação.

Os estoques intermediários possuem capacidade de 6 peças, e para o estoque final, 12 peças. Isso se deve ao tamanho e disposição das peças nas embalagens de armazenamento. No palete final, as peças são dispostas em 2 camadas, com proteção entre elas, o que não acontece nos estoques intermediários, que contém apenas uma camada de peças.

É importante ressaltar que os estoques intermediários são utilizados apenas em casos específicos, como quebra de máquina, por exemplo. Em uma rotina sem eventualidades, é priorizado o fluxo unitário de peças entre as operações, indo diretamente de uma máquina para a outra, sem o uso dos estoques intermediários.

O componente pode ser fabricado em 8 versões diferentes, denomidas para este estudo de A até H. Todos os modelos passam pelo mesmo processo e mesmas operações, na mesma sequência, porém possuem tempos de fabicação diferentes. Os tempos de cada etapa foram fornecidos pelos responsáveis da linha de produção e estão descritos conforme tabela 4:

Tabela 4 - Tempos de operação

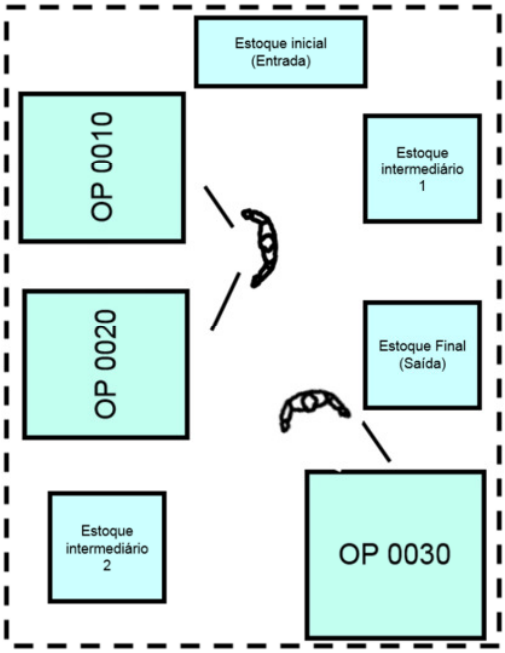
Versão do Componente	Operação OP 0010	Operação OP 0020	Operação OP 0030
Versão A	4,00 min	4,80 min	4,50 min
Versão B		6,10 min	
Versão C	5,80 min	8,00 min	6,20 min
Versão D		6,80 min	
Versão E	4,80 min	4,75 min	3,00 min
Versão F		5,50 min	
Versão G	7,80 min	8,00 min	6,5 min
Versão H	7,00 min		

Fonte: Autor

O arranjo físico foi fornecido pela empresa, na forma de *"block layout"* (figura 7), ou seja, apenas uma representação da disposição dos equipamentos. De qualquer forma, as

medições foram feitas na própria linha de produção para que essa informação seja utilizada no modelo. Assim foi possível avaliar também o deslocamento dos operadores.

Figura 7 - *Block* layout



Fonte: Autor

A linha é composta por dois operadores. O primeiro operador é responsável por retirar a peça do estoque de entrada, colocá-la e retirá-la na operação 0010, levá-la ao primeiro estoque intermediário e posteriormente, posicioná-la na operação OP 0020. Já o segundo operador, é responsável pelas operações finais do processo, ou seja, retira a peça da operação OP 0020, armazena-a no estoque intermediário 2, carrega e descarrega a operação OP 0030, e finaliza o fluxo colocando a peça no estoque de saída. Os operadores atuam em 3 turnos, com 8 horas de duração, e 45 minutos de intervalo, de segunda a sábado, com os domingos livres. A troca entre os turnos é feita com as máquinas em funcionamento, em uma suave transição que não impacta o processo.

A análise considera o período de 5 dias uteis consecutivos no mês de Maio de 2015, os volumes de produção estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 – Volume de produção para 5 dias

Versão do Componente	Visão do sequenciamento para 5 dias úteis					Total
	1	2	3	4	5	
A	8	18	18	14	16	74
D	0	4	2	0	2	8
F	100	84	62	36	72	354
H	0	2	0	0	2	4

Fonte: Autor

É possível notar na Tabela 5 que apenas 4 versões possuem volumes para o período de simulação. Dessa forma, todos os cenrários foram desenvolvidos considerando produção apenas das versões A, D, F e H. Para cada dia, a produção tem início com o modelo A, e irá passando pelas demais versões, em ordem alfabética, até o modelo H. Por não ser possível obter informações sobre a distribuição de chegadas no estoque de entrada, assume-se que todas as peças necessárias para a produção diária, chegam no primeiro instante do dia.

Os tempos médios entre falhas (MTBF) e os tempos médios de reparo (MTTR) foram fornecidos pela empresa, e se aplicam para cada equipamento, independente do modelo em produção, apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - MTBF e MTTR

Operação	MTBF (horas)	MTTR (horas)
OP 0020	1.194,10	0,54
OP 0010	349,45	1,75
OP 0030	423,51	5,55

Fonte: Autor

A matriz de setup indica o tempo que cada equipamento leva para ser preparado para processar o modelo subsequente, variando conforme mostrado nas tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7 - Tempos de Setup - OP 0010 em horas

Tempos em Horas Máquina OP10	Para	A	D	F	H
De					
A		-	1	1	3
D		1	-	2	3
F		1	3	-	4
H		2	5	4	-

Fonte: Autor

Tabela 8 - Tempos de Setup - OP 0020 em horas

Tempos em Horas Máquina OP20	Para	A	D	F	H
De					
A		-	1	2	2
D		1	-	1	4
F		2	3	-	4
H		3	3	4	-

Fonte: Autor

Tabela 9 - Tempos de Setup - OP 0030 em horas

Tempos em Horas Máquina OP30	Para	A	D	F	H
De					
A		-	2	1	2
D		1	-	3	2
F		2	3	-	2
H		4	1	3	-

Fonte: Autor

O consumo de energia, embora crítico para este estudo, não foi possível de ser coletado em campo. No entanto, foi definida uma proporção de consumo de energia elétrica junto aos especialistas da empresa. Por motivo de confidencialidade, não foi possível obter os

valores exatos, porém máquinas semelhantes possuem o mesmo perfil de consumo. O alto consumo durante o início e desligamento da máquina deve-se à execução de parte dos programas em velocidade avançadas, justificando também seu tempo elevado. Portanto, a comparação de consumo é feita considerando os tempos de cada máquina em cada estado. Para que possa ser possível avaliar quando os equipamentos devem ser desligados ou não, assumiu-se que cada estado consome, por mínuto:

a) ligada em operação: 4 unidades de energia em 1 minuto
b) ligada em espera: 1 unidade de energia em 1 minuto
c) processo de desligar: 5 unidades de energia em 1 minuto
d) processo de ligar: 5 unidades de energia em 1 minuto

Cada equipamento demora 2 minutos para ligar, e mais 2 minutos para desligar, o que permitiu calculadar o ponto de equilíbrio S, ou seja, o tempo mínimo entre o comando desligar e a finalização do religamento de equipamento para que não haja desperdício de energia é de 20 minutos.

$$S = \frac{(5*2)+(5*2)}{1} = 20 \qquad (2)$$

O consumo de energia em 1 minuto e o tempo necessário para ligar e desligar,foi considerado igual para todos os equipamentos, independente da operação.

3.1 DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Com base na revisão bibliográfica deste estudo, tendo como referência o objetivo do trabalho e conhecimentos adquiridos na vivência da indústria, foram criados cenários distintos para que sejam avaliados o consumo de energia elétrica e sua redução ou aumento em virtude da aplicações de regras que regem quando e por quanto tempo equipamentos devem alterar seus estados, ou seja, ser desligados ou ligados.

De posse das informações básicas, o primeiro cenário desenvolvido, denominado “Base”, foi inspirado na linha de produção em estudo como ela realmente é. A única ressalva é que no modelo, os estoques intermediários estão sempre disponíveis e em uso, e na realidade, estes estoques são utilizados apenas em casos especiais, como quebras de máquinas ou eventuais necessidades. A partir daí, outros cenários foram criados, adotando regras que indicarão quando os equipamentos devem ser desligados e religados com base em estoque, chegada de peças ou lotes de produção.

É importante ressaltar que este cenário será a referência para avaliar os ganhos ou perdas no consumo de energia em cada cenário proposto a seguir.

O segundo cenário a ser avaliado, chamado de “Cenário A”, apresenta como regra para desligar a máquina não haver nenhuma peça esperando em estoque imediatamente anterior ao equipamento para ser produzida, e religada apenas quando houver a chegada de nova peça neste local. Esta regra foi criada tendo como base a idéia de que os equipamentos devem permanecer ligados apenas se tiverem algo a ser produzido de imediato. Este cenário analisa prioritatiamente o estoque anterior às operações.

O terceiro cenário proposto, denominado “Cenário B”, difere do anterior pois tem como proposta principal observar os estoques na saída, posterior às operações para tomar a decisão dos estados dos equipamentos. Dessa forma, a regra para desligar baseia-se no local de destino (ou estoque de saída). Quando o estoque na saída estiver cheio, o equipamento deverá ser desligado. Quando o estoque na saída estiver apenas com 2 peças (margem para estoque de segurança), o equipamento deverá ser religado.

O quarto cenário, “Cenário C”, é baseado na formação de lotes específicos nos estoques intermediário. O foco desse cenário é desligar o equipamento sempre que não houver peça esperando para ser processada, e apenas religá-lo quando o estoque na entrada possuir a quantidade exata de um lote.

As regras e principais características para cada cenário, A, B e C, estão resumidos no quadro 3.

Quadro 3 - Cenários A, B e C para a Simulação Computacional

Cenário	Operação	Condição para desligar	Condição para ligar (se maior que ponto de equilíbrio S)
A	Todas	Sem peça esperando	Chegada de nova peça
B	Todas	Estoque na saída da operação estiver cheio	Estoque na saída da operação estiver 2 peças
C	Todas	Sem peça esperando	Lote completo em espera

Fonte: Autor

Com base nas análises de resultados de cada cenário, foram criados outros cenários distintos, sendo eles D, E, F e G.

O cenário D será idêntico ao C para as operações OP 0020 e OP 0030, porém a OP 0010 será desligada apenas quando o estoque intermediário de saída, estoque intermediário 1, estiver cheio, conforme quadro 4.

Quadro 4 – Regas dos cenários C e D

Cenário	Operação	Condição para desligar	Condição para ligar (se maior que S)
C	Todas	Sem peça esperando	Lote completo em espera
D	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio	Lote completo em espera
	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Lote completo em espera

Fonte: Autor

O cenário E deriva do cenário D, tendo a regra de ligar o equipamento da OP010 sempre que o estoque de saída, no caso, estoque intermediário 1, estiver com 2 peças.

As regras dos cenários são apresentada no quadro 5.

Quadro 5 - Regas dos cenários D e E

Cenário	Operação	Condição para desligar	Condição para ligar (se maior que S)
D	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio	Lote completo em espera
	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Lote completo em espera
E	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio	Estoque na saída da operação estiver com 2 peças
	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Lote completo em espera

Fonte: Autor

Para o cenário F, dois cenários anteriores serão mesclados, A e E. Para a OP 0010 serão adoradas as regras do cenário E, e para as operações OP 0020 e OP 0030, as regras do cenário A.

As regras dos três cenários podem ser vista no quadro 6:

Quadro 6 - Regas dos cenários A, E e F

Cenário	Operação	Condição para desligar	Condição para ligar (se maior que S)
A	Todas	Sem peça esperando	Chegada de nova peça
E	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio	Estoque intermediário de saída com 2 peças

	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Lote completo em espera
F	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio	Estoque na saída da operação estiver com 2 peças
	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Chegada de nova peça

Fonte: Autor

O último cenário que será avaliado é o cenário G.

O cenário G contará com mais de uma regra para a OP 0010, sendo que o equipamento poderá ser desligado na condição de não ter peça esperando ou o estoque de saída (intermediário) na sua capacidade máxima. As regras dos cenários A, E e G está descrita no quadro 7.

Quadro 7 - Regas dos cenários A, E e G

Cenário	Operação	Condição para desligar	Condição para ligar (se maior que S)
A	Todas	Sem peça esperando	Chegada de nova peça
E	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio	Estoque na saída da operação estiver com 2 peças
	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Lote completo em espera
G	OP10	Estoque na saída da operação estiver cheio **OU** sem peça esperando	Estoque na saída da operação estiver com 2 peças
	OP20 / OP30	Sem peça esperando	Chegada de nova peça

Fonte: Autor

3.3 MODELO

O modelo computacional foi implementado utilizando-se o software ProModel®. Este modelo leva em consideração os dados citados previamente. A descrição completa, com todos os parâmetros do modelo encontra-se no apêndice B.

Aqui é detalhada somente a criação do primeiro modelo, utilizado no cenário “Base”, que representa as condições encontradas na linha de produção. A necessidade desse modelo é ter um parâmetro de comparação para os resultados obtidos nos outros cenários.

Os demais modelos, utilizados para os outros cenários, possuem as diferenças do modelo Base apresentadas nos apêndices C à H.

A primeira informação inserida foi o *block layout*, apenas como uma imagem de fundo para auxiliar posteriormente na colocação dos locais, rota dos operadores, distâncias, assim como facilitar visualmente a compreensão do modelo.

O segundo passo foi inserir os locais. Cada equipamento foi considerado um local de capacidade única, e os estoques inicial, intermediários e finais, locais de capacacidade multipla. Neste momento, as capacidades foram inseridas.

Para o estoque de entrada, foi assumido capacidade infinita, ainda que esta não seja a realidade. Essa decisão foi tomada apenas para garantir que todas as peças fossem processadas continuamente. Atrasos provenientes do abastecimento de peças na entrada não são considerados neste estudo.

As peças são representadas no software através de entidades. Cada versão da peça (A, D, F e H) foi considerada uma entidade, com cor diferenciada. Como todas são movimentadas apenas pelos operadores, não há necessidade de ajuste de velocidade.

Os operadores se locomovem apenas pelas chamadas "redes de caminhos". Cada rede teve sua distância ajustada, assim como assinalando as interfaces. Foram feitas duas redes de caminho, já que a linha conta com dois operadores.

Os recursos adicionados, neste caso, foram os operadores. Cada operador teve as especificações definidas.

As chegadas, ou seja, quando as peças entram no sistema, foram estabelecidas por meio de arquivo externo. Em uma planilha, foi definida a ordem e tamanho dos lotes de entrada. Isso é importante pois foi estabelecida a regra FIFO (Primeiro que entra é o primeiro que sai) para determinação da sequencia de produção. O lote de todas as peças a serem produzidas no dia chega no instante 0 deste dia, ou seja, chegam peças com uma diferença de 1440 minutos.

Os atributos são valores que representam caractrísticas de cada entidade (no caso, peça). Foram criados três atributos: "Tempo_OP10", "Tempo_OP20" e "Tempo_OP30". Cada atributo foi incluido no mesmo arquivo externo das chegadas, assim cada modelo já possui um valor determinado para cada atributo. A tabela de entradas pode ser vista no Apêndice A.

O próximo passo é a criação dos processos. Neste primeiro modelo, foram considerados que os operadores levam as peças de uma operação para outra, não utilizando os estoques intermediários.

O comando WAIT foi inserido em cada equipamento, remetendo ao tempo já pré-definido em cada atributo existente na tabela de chegadas.

A lógica de saída foi criada utilizando o comando MOVE WITH, selecionando o recurso, esperando 5 segundos (tempo estimado de ajustar a peça no novo local) e então liberado o operador. Foi inserido também a regra de que a peça só sai do equipamento se a máquina seguinte estiver com capacidade livre.

O último passo foi inserir as paradas por setup. Para cada local, foi atribuído a parada por setup e inserido seu tempo com o comando WAIT, conforme tempo necessário para troca entre cada versão.

Não há necessidade de tempo de aquecimento, pois a linha produz toda a demanda do dia, não começando então com peças em qualquer máquina ou estoque que não seja o de entradas. Além disso, o alto tempo de simulação (120 horas) já é significante para não precisar do aquecimento.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com os modelos finalizados, os cenários foram executados. Os resultados são apresentados considerando fatores importantes para análise posterior, mostrando para cada cenário:

a) volume de produção
b) consumo de energia por equipamento
c) tempo desligado de cada equipamento

A Tabela 10 apresenta um resumo dos resultados obtidos em cada cenário. No entanto, algumas considerações são necessárias.

O cenário Base é aquele fiel à linha de produção. Não há regras de mudança de estado das máquinas e por isso, o tempo desligado de cada equipamento deve ser nulo.

A partir do cenário A todos apresentam regras para mudança de estado dos equipamentos em cada operação.

Tabela 10 - Resultados dos cenários simulados

Cenário	Produção	Consumo de energia (unidades de energia)			Tempo desligado (minutos)		
		OP 0010	OP 0020	OP 0030	OP 0010	OP 0020	OP 0030

Base	440	10.850,34	12.126,34	9.979,29	0	0	0
A	440	9.395,76	9.941,52	6.467,91	1.478,63	2.289,94	3914,71
B	440	10.016,00	11.727,61	9.981,62	1.042,39	457,84	0
C	434	10.798,64	10.469,90	6.602,71	59,75	1.725,55	3372,64
D	431	10.548,57	10.359,04	6.484,73	619,82	1.812,66	3443,91
E	431	9.189,50	10.358,32	6.483,29	1.878,89	1.813,38	3445,35
F	440	9.872,67	9.903,12	6.438,87	1.195,72	2.322,33	3937,74
G	440	9.852,35	9.903,12	6.438,87	1.236,03	2.322,33	3937,736

A seguir é feita uma análise mais aprofundada, que permite entender de forma mais apurada os ganhos obtidos, bem como avaliar outros aspectos de cada um dos cenários considerados.

A princípio, o cenário A, B e C foram avaliados. Nestes casos, a redução de consumo de energia quando comparados ao cenário Base variou de 3,7% a 21,70%.

Entre eles, o cenário A foi o que mostrou um melhor resultado, tanto na redução de consumo total do sistema quanto em cada a operação. Um pouco menos expressivo, o cenário B apresentou uma redução intermediária, e o cenário C, uma redução pequena de consumo de energia.

A tabela 11 mostra os resultados gerais de cada cenário, quando comparados ao cenário Base:

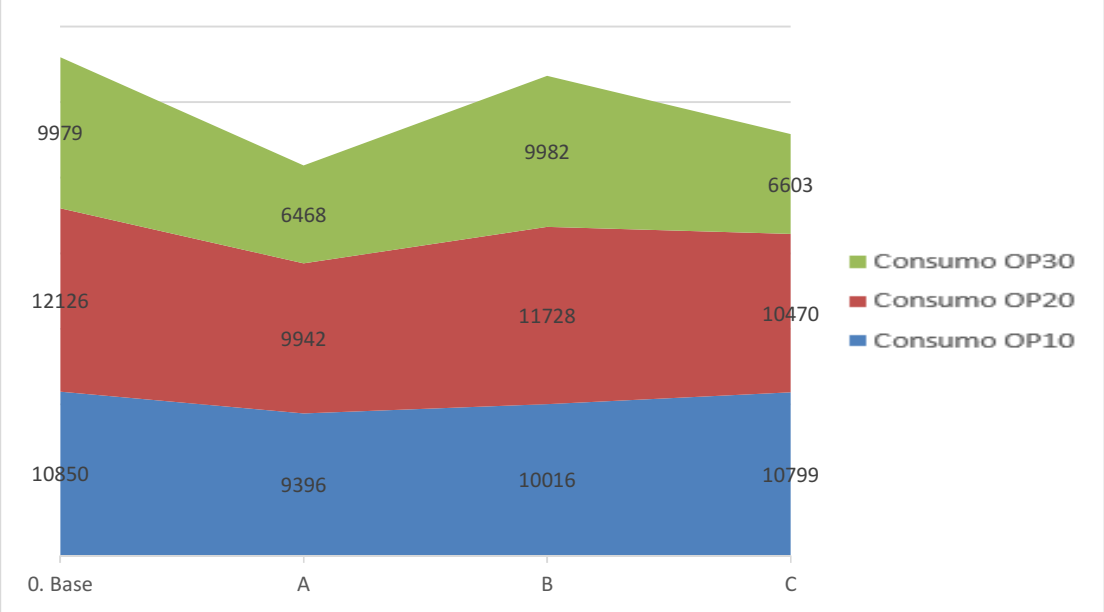
Tabela 11 - Resultados dos cenários Base, A, B e C.

Cenário	Total (consumo em unidades de energia)	Redução de consumo total	Redução de consumo OP10	Redução de consumo OP20	Redução de consumo OP30
Base	32.955,971	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
A	25.805,183	21,70%	13,41%	18,02%	35,19%
B	31.725,232	3,73%	7,69%	3,29%	0,0%
C	27.871,254	15,43%	0,48%	13,66%	33,84%

Fonte: Autora

A redução total de cada operação pode ser vista no gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico de consumo dos Cenários Base, A, B e C



Fonte: Autor

Os resultados obtidos são coerentes com as regras aplicadas.

O cenário A foi o que mostrou um melhor conjunto de resultados. No caso da operação OP 0010, como o lote de peças para o dia chega uma única vez, a regra de que o equipamento deve ser desligado sempre que não houver peça esperando permite que a máquina seja desligada poucas vezes, mas com intervalos longos, principalmente no cenário A. Também foi verificado um grande potencial para a operação OP 0030, logo após a máquina gargalo. Como as peças demoram mais para chegar do que para serem produzidas, eventualmente o estoque intermediário ficará vazio, fazendo com que o equipamento seja desligado.

Apesar do resultado expressivo observado nesses cenários, é interessante também observar alguns outros aspectos além do consumo de energia e tempos. Um deles, é quanto a máquina fica bloqueada, ou seja, está em situação de espera, mas não atingiu os critérios para desligar. A porcentagem de tempo bloqueada é mostrada na tabela 12.

Tabela 12 - Tempo de bloqueio nos cenários Base, A, B e C.

Cenário	% OP10	%OP20	%OP30
Base	29,65	13,5	0
A	29,65	13,5	0
B	13,21	7,97	0
C	48,18	21,97	0

Fonte: Autor

O cenário C mostra um tempo de bloqueio para a operação OP 0010 de 48,18%, ou seja, em quase metade da simulação, a peça foi concluída, mas não pode sair da máquina pois o estoque intermediário está cheio (71,22% do tempo). Ao mesmo tempo, o equipamento não pode ser desligado pois a condição de não haver peça de entrada também não foi atendida, já que está parcialmente ocupado em 99,12% do tempo.

Dessa forma, o cenário C revelou uma possibilidade de melhoria de seu resultado. Para verificar esse potencial de melhoria, foi criado um novo cenário, denominado D.

O cenário D apresentou uma leve redução de consumo de energia do sistema, partindo de 15,4% no cenário C para 16,88%. O tempo de bloqueio da OP 0010 também reduziu, de 48,18% para 38,19%. No entanto, o resultado deste cenário não é satisfatório, inclusive pois a produção foi comprometida em 9 peças.

Ao analisar o cenário D, lembrando-se do fato que todas as peças brutas necessárias para a produção diária acontecem no mesmo instante, ou seja, sempre haverá lote completo em espera para essa operação, tem-se o efeito que o equipamento da operação OP 0010 irá ligar rapidamente. Dessa forma, pode-se testar a regra que o equipamento da OP 0010 seja guiado pelo estoque intermediário.

Essa regra é coerente também ao pensar que a operação gargalo é a operação subsequente, contribuindo para que o estoque intermediário tenha sempre peças. Sendo assim, um novo cenário foi testado (cenário E).

No cenário D, a ocupação do estoque intermediário 1 é de 11,69% sem peças, 44,58% parcialmente ocupado, e 43,73% do tempo completamente cheio.

Já o cenário E mostrou um resultado interessante. O consumo total de energia foi reduzido em 21,01%. O número de processos de reinicio do equipamento da operação OP 0010 também reduziu significativamente, de 31 para 21 vezes, aumentando também a duração total do equipamento desligado de 8,61% para 26,10% do tempo total de simulação. No entanto, a produção ainda sim foi comprometida, o que não torna este cenário interessante para ser aplicado de forma prática.

Analisando os dados do cenário E com maior profundidade, percebe-se que a mudança feita não comprometeu os resultados das operações OP 0020 e OP 0030. Porém a redução total de consumo de energia obtida neste cenário para a operação OP 0010 foi significativa, de 15,31%. Isso mostra que a regra adotada para esta operação foi adequada.

Com base no resultado obtido na regra de religamento do equipamento da OP 0010 no cenário E, e o resultado no cenário A, surge a necessidade de entender se a mistura desses dois cenários pode trazer uma redução de consumo ainda mais expressiva para o sistema como um todo.

Para a OP 0030, no cenário A, é possível ver que diversas vezes o equipamento leva poucos minutos para processar suas peças, e isso gera uma frequência muito alta de reinicio do equipamento, as vezes com intervalo de 1 peça processada. Assim, o custo com o pico de energia no processo de desligar e ligar a máquina ocorre diversas vezes (39 vezes), e em 31, apenas pelo tempo mínimo. Como visto no cenário E, pode ser mais vantajoso reiniciar menos vezes a máquina com intervalo maior entre elas. Portanto, será testada um novo cenário, que considerará para ligar a máquina, ao invés de 1 peça na fila, 2 peças no estoque de entrada, o que na teoria garantirá maior tempo de processamento em sequência e menos processos de reinício. Essa foi a regra que garantiu um sucesso maior no cenário E.

Apesar de utilizar as regras que até o momento mostraram maior economia no consumo de energia, o cenário F apresentou não foi aquele que mostrou melhor resultado, com 20,06% de redução no consumo do sistema. No entanto, é importante ressaltar que o volume de produção foi mantido e todas as peças demandadas foram fabricadas.

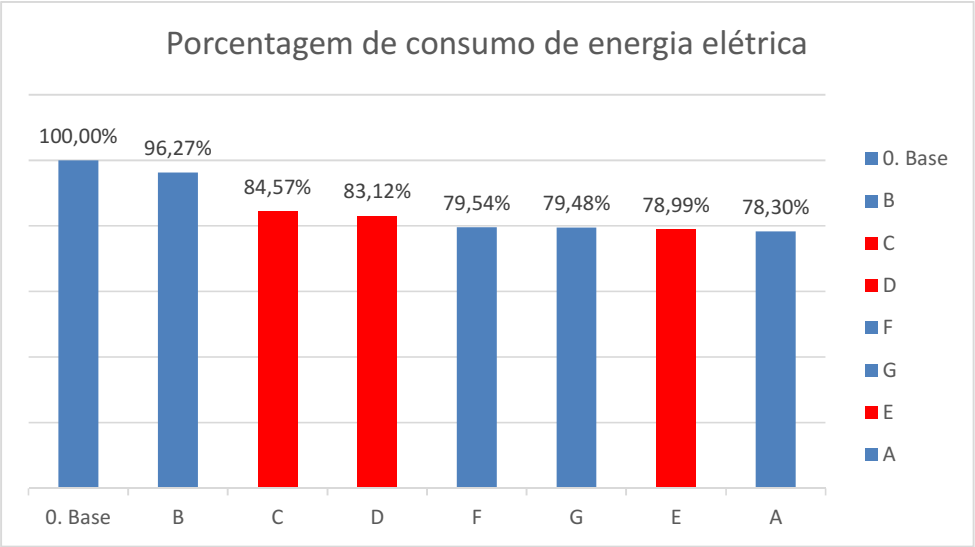
Analisando os resultados anteriores, um último cenário foi criado, o cenário G.

Quando simulado, o cenário G apresentou um bom resultado, atendendo a demanda de produção e atingindo 20,52% de redução total do consumo de energia elétrica. A OP 0010, mesmo tendo duas regras válidas, obteve apenas 9,20% de redução de consumo, resultado considerado baixo quando comparado com outros cenários.

Entre todos os cenários apresentados, o cenário A foi o que apresentou menor consumo, sendo 78,3% quando comparado ao cenário Base. O cenário E ficou próximo, porém não produziu todas as peças necessárias ao fim da simulação.

A gráfico 2 mostra o comparativo final entre todos os cenários, no que se refere ao consumo total de energia elétrica. Os cenários destacados em vermelho, C, D e F, não atingiram o volume de produção planejado.

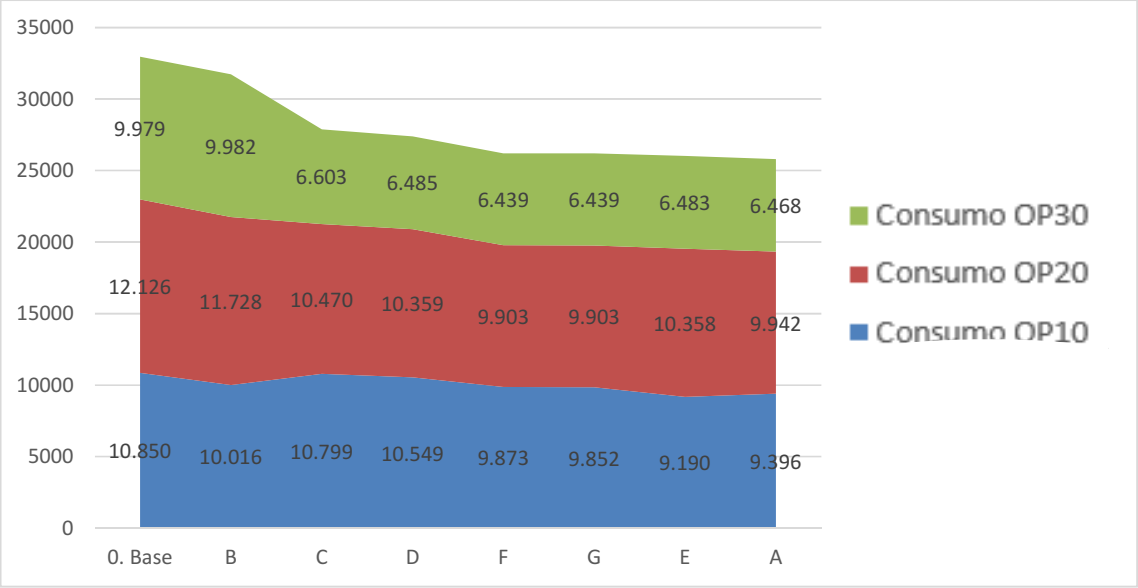
Gráfico 2 - Porcentagem de consumo de energia elétrica por cenário



Fonte: Autor

Ao analisar o consumo de cada operação, é possível perceber que o cenário A não possui o melhor resultado em todos os equipamentos, apesar do melhor resultado no geral. Essa constatação pode ser vista no gráfico 3.

Gráfico 3 - Consumo de energia de todos os cenários

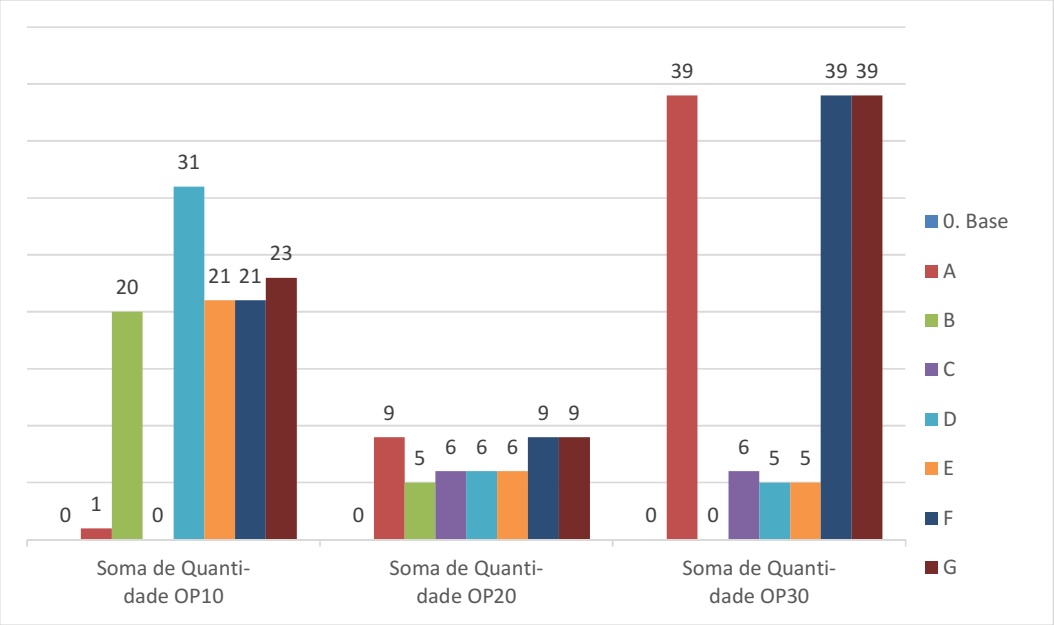


Fonte: Autor

Os resultados combinados dos cenários mostraram que nem sempre priorizar o consumo através de regras de funcionamento dos equipamentos vai atender ao volume produzido, mas quando utilizadas regras adequadas, os ganhos são representativos.

Enquanto os resultados de consumo são relativamente nivelados, a quantidade de vezes que a máquina é desligada ou ligada, ou seja, sofre um pico de energia, mostra resultados muito díspares dentro de cada operação, como visto no gráfico 4.

Gráfico 4 - Quantidade de vezes que a máquina deve ser desligada ou religada



Fonte: Autor

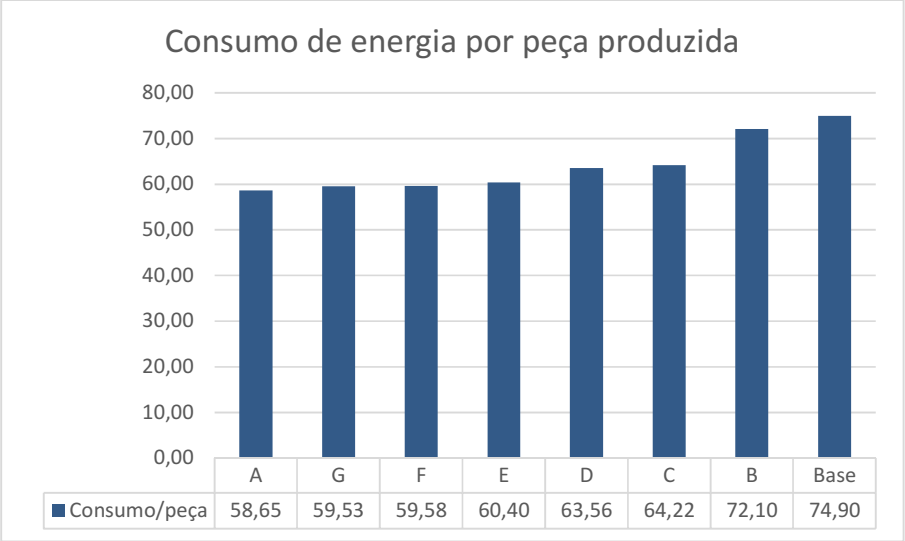
A operação gargalo, OP 020, possui valores próximos, variando entre 5 e 9 (para cenários com regras adotadas). Isso ocorre pois como é a operação que demora mais tempo para ser processada, não sofre tanta interferência de estoques anteriores e posteriores.

Já para a operação OP 0010, quando a regra adotada se refere ao estoque que de entrada, o número de picos não passa de 1. Quando a regra leva em conta o estoque de saída, fortemente influenciado pela operação gargalo, este valor varia entre 20 e 31,

A operação OP 0030 possui alto índice da ação de ligar ou desligar a máquina quando a regra para desligamento é não ter peça esperando, o que ocorre por estar logo após a máquina gargalo, ou seja, seu tempo de processamento é menor e por isso há mais chance de que o estoque de entrada fique vazio aguardando a peça da operação anterior.

Utilizando o conceito de eficiência energética proposto por Hermann et al. (2011), em que a relação entre a quantidade de produtos produzidos e a quantidade de energia que entra na linha de produção mede a eficiência energética, observa-se que cenários que não atingiram o volume de produção necessário (C, D e E), tiveram um consumo de energia por peça menor que o cenário B, capaz de produzir a demanda inteira. Nesse sentido, cabe avaliar qual a real necessidade de cumprimento do volume de produção, em contrapartida à redução de custos. Os resultados de consumo por peça podem ser vistos no gráfico 5.

Gráfico 5 - Consumo de energia por peça produzida



Fonte: Autor

Pensando na aplicabilidade dos modelos avaliados, e como o fato de ligar ou desligar equipamentos é feito de forma manual, uma mesma regra para todas as operações pode facilitar o entendimento dos operadores sobre o que deve ser feito.

Quanto aos estoques, como o próprio caso utilizado como exemplo possui limitações físicas, não foi observado um impacto significativo.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nas análises dos resultados vistas anteriormente, conclui-se que é possível reduzir o consumo de energia de uma linha de produção com base em regras para mudança de estado das máquinas baseadas em estoques intermediários, anteriores ou posteriores à operação, sem afetar o volume de produção.

Ao realizar a simulação computacional, foi possível obter economia de energia sem afetar o volume de produção, porém alterando o comportamento dos equipamentos.

Foi possível observar durante o estudo que todas as operações são influenciadas pelas regras das demais operações, já que estas causam impacto direto nos níveis de estoques intermediários.

É importante ressaltar também que nem todos os cenários avaliados permitiram que a demanda do período fosse cumprida, ou seja, para alguns cenários, o volume de produção foi comprometido.

A quantidade de vezes que o equipamento deve ser ligado ou desligado, bem como o pico de energia nessas ações, compensa quando analisado o resultado geral. No entanto, o ponto de equilíbrio deve ser conhecido para que o objetivo de redução de consumo de energia seja atingido.

O resultado apresentado contradiz em parte a filosofia da Produção Enxuta, que diz que o fluxo contínuo de peças, sem estoque, reduz os custos para a empresa. As estratégias avaliadas neste estudo, com adoção de lotes intermediários controlados, junto com as regras para mudança de estado da máquina, mostraram potencial de ganho.

A linha avaliada possui grande disparidade entre os tempos de produção de cada operação, o que contribuiu para os ganhos obtidos. Linhas balanceadas, com menor diferença entre os tempos de produção, possuem menor potencial de ganho.

A escolha das regras depende da estratégia da empresa. Em alguns casos, produzir menos pode significar um gasto menor com energia elétrica por peça.

A simulação mostrou-se uma ferramenta bastante eficaz para a verificação das regras avaliadas no estudo, fornecendo informações importantes para análise.

A abordagem deste trabalho pode ser aplicada em outras linhas de produção, no entanto ajustes devem ser feitos conforme cada caso.

Para um estudo futuro, pode-se avaliar as regras criadas para linhas mais complexas, com diferentes rotas de produção e mais equipamentos. Outra sugestão é baseada na Industria

4.0, em que a automação é parte essencial para criar produtos, processos e mecanismos inteligentes e integrados. Nesse sentido, é interessante avaliar se a adoção de sistemas de automação é vantajosa quando comparada com as regras determinísticas escolhidas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ABDULMALEK, Fawaz. A.; RAJGOPAL, Jayant.; KIM, LaScola. Classification Scheme for the Process Industry to Guide the Implementation of Lean. **Engineering Management Journal**, v. 18, p. 15-25, 2006. Disponível em: <http://connection.ebscohost.com/c/articles/21974912/classification-scheme-process-industry-guide-implementation-lean>. Acesso em: 08 dez 2014.

AFONSO, Ana. C. B. **O consumidor verde:** perfil do comportamento de compra. Lisboa, 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Marketing) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Economia e Gestão.

AGUIAR, Giancarlo F; PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre R. Simulações de arranjos físicos por produto e balanceamento de linha de produção: o estudo de um caso real no ensino para estudantes de Engenharia, 35, 2007, Curitiba, **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2007/artigos/117-Jurandir%20Peinado.pdf. Acesso em: 05 dez. 2014.

ALMEIDA, Mariana R; MARIANO, Enzo B; Rebelatto, Daisy A. N. Ferramenta para calcular a eficiência: um procedimento para Engenheiros de Produção. In: COBENGE, 24, 2006, Passo Fundo, **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Mariana_Almeida/publication/228429602_Ferramenta_para_Calcular_a_Eficincia_Um_procedimento_para_engenheiros_de_produo/links/0deec528a78cc5e1c8000000.pdf >. Acesso em: 05 jan. 2015.

APPOLINÁRIO, Fábio. **Metodologia da ciência:** filosofia e prática da pesquisa. São Paulo: Thompson, 2006.

APOSTOLOS, Fysikopoulos et al. Energy Efficiency of Manufacturing Processes: A critical Review. **Procedia Cirp,** v. 7, p. 628-633, 2013. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113003132>. Acesso em: 28 set. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Consumidores, Consumo, Receita e Tarifa Média – Região, Empresa e Classe de Consumo.** Disponível em: <http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPRegiaoEmp.xlsx&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2FRelatoriosSAS%2FForms%2FAllItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1 >. Acesso em: 05 jun. 2014.

BANKS, Jerry et al. **Discrete event system simulation**. 4. ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 2005.

BATALHA, Mário Otávio; RACHID, Alessandra. Estratégia e Organizações. In: BATALHA, Mário Otávio. **Introdução à Engenharia de Produção.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. Cap. 9. p. 183-208.

BRANCO, F. et al. Análise de procedimentos para a redução do consumo de energia elétrica de setores de uma empresa de materiais escolares e escritório. In: Encontro de Engenharia e

Tecnologia dos Campos Gerais, 8., 2013, Porto Alegre, **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.aeapg.org.br/8eetcg/anais/60118_2.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2015.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa n°414, de 9 de setembro de 2010.** Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: 21 out. 2014.

CERVO, Amando L.; BERVIAN, Pedro A.; DA SILVA, Roberto. **Metodologia Científica**. 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

CHANG, Qing et al. Energy Saving Opportunity Analysis of Automotive Serial Production System. **IEEE Transactions on automation science and engineering,** v. 10, p 334-342, 2013. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6301788>. Acesso em: 09 set. 2014.

CHAKRAVORTY, Sayta S; ATWATER, Brian J.Do JIT perform better than traditionally balanced lines?,**International Journal os Operations & Production Management**, v.15, p. 77-88, 1955.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Modelagem e simulação de eventos discretos:** teoria & aplicações. 3. ed. São Paulo: Ed do Autor, 2010.

DAVIS, Lesley; WILLIAMS, Glyn. Evaluation and selecting simulation software using the analytic hierarchy process. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 5, p. 22-32. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/09576069410050314>. Acesso em: 26 jan 2015.

DIEWERT, Erwin W; NAKAMURA, Alice O. Concepts and Measures of Productivity: An Introduction. In: LIPSEY, R; NAKAMURA, A. (eds.). **Services Industries and the Knowledge Based Economy,** Calgary: University of Calgary Press, 2005.

EXTRA ONLINE. **Ministro de Minas e Energia diz que cenário de setor elétrico é desafiador**. 2015. **Disponível em: <**http://extra.globo.com/noticias/brasil/ministro-de-minas-energia-diz-que-cenario-de-setor-eletrico-desafiador-15196629.html#ixzz3RZsc1Wyc http://extra.globo.com/noticias/brasil/ministro-de-minas-energia-diz-que-cenario-de-setor-eletrico-desafiador-15196629.html> . Acesso em: 02 fev. 2015.

GIACONE, Elena; MANCÒ, Salvatore. Energy efficiency measurement in industrial processes. **Energy,** v. 38, p. 331-345, 2012. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211007857>. Acesso em: 15 set. 2014.

HARRELL, Charles. R.; GHOSH, Biman. K.; BOWDEN, Royce. **Simulation Using Promodel**. McGraw-Hill, 2000.

HERMANN, C. et al. Energy oriented simulation of manufacturing systems – Concept and application. **CIRP Annals – Manufacturing Technology,** v. 60, p. 45-48, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850611001284>. Acesso em: 05 jan. 15.

_____; THIEDE Sebastian. Process chain simulation to foster energy efficiency in manufacturing. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology,** v. 1, p. 221-229, 2009. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S17555817 09000121>. Acesso em: 18 ago. 2014.

HINES, Peter; TAYLOR, Davis. **Going Lean – A guide to implementation**. Cardiff:. Lean Enterprise Research Centre, 2000.

LANGER, Tino et al. A model-based approach to energy-saving manufacturing control strategies. **Procedia Cirp,** v. 15, p. 123-128, 2014. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827114004429>. Acesso em: 5 nov. 2014.

LAUGENI, Fernando. P.; MARTINS, Petrônio. G. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

LAW, Averill.; KELTON, David W. **Simulation Modeling and Analysis**. 3. Ed. Nova York: McGraw-Hill, 1999.

MORAES, Luiz H; SANTORO, Miguel C. Medida de eficiência em linhas de produção. In: ENEGEP, 26, 2006, Fortaleza, **Anais eletrônicos...**Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2006_tr450311_7371.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2014.

MOUZON, Gilles; YILDIRIM, Mehmet B; TWONEY, Janet. Operational Methods for minimization of energy consumption of manufacturing equipment. **International Journal of Production Research**, v. 45, p. 4247-4271, 2007. Disponível em: <http://soar.wichita.edu:8080/bitstream/handle/10057/3435/Yildirim_2007b.pdf?sequence=3 >. Acesso em: 18 jul. 14.

OLIVEIRA, Clenio S. D. **Metodologia para utilização de simulação em projetos de manufatura enxuta.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PASCAL, Dennis. **Produção lean simplificada.** Porto Alegre: Bookman, 2008.

PATTERSON, Murray. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, v. 24, p. 377-390, 1996. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0301421596000171>. Acesso em: 18 ago. 2014.

ROBINSON, Stewart. The application of computer simulation in manufacturing. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 4, p. 18-23. Disponível em: < http://www.emeraldinsight.com/ doi/abs/10.1108/09576069310044628>. Acesso em: 26 nov. 2014.

SEOW, Y., RAHIMIFARD, S. A framework for modelling energy consumption within manufacturing systems. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology,** v. 4, p.

258-264, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article /pii/S1755581711000381 >. Acesso em: 12 ago. 2014

SHINGO, Shingeo. **O sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

TANGEN, Stegan. Understanding the concepto f productivity. In: APEMS, 7. 2002, Taipei. **Anais eletrônicos...**Disponível em: <http://www.aipa.ca/wp-content/uploads/2013/11/pap_Tangen2002-UnderstandingTheConceptOfProductivity.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

TUBINO, Dalvio F. **Sistemas de Produção:** A produtividade no chão de fábrica. Porto Alegre: Bookman, 1999.

TAJ, Shahram.; BERRO, Lismar. Application of constrained management and lean manufacturing in developing best practices for productivity improvement in an auto-assembly plant. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 55, p. 332-345, 2006. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/ref/10.1108/174 10400610653264> . Acesso em: 04 jan. 2015.

UBEREST ENERGIA. **Sustentabilidade.** 2015. Disponível em: **<**http://www.uberest.com.br/sustentabilidade.php>. Acesso em: 03 jan. 2015.

UOL. **Ministro alega apoio para racionalização de energia.** 2015. Disponível em: **<**.http://portal.tododia.uol.com.br/_conteudo/2015/02/caderno/negocios_regionais_capital/623 32-ministro-alega-apoio-para-racionalizacao-de-energia.php>. Acesso em: 10 fev. 2015.

WANG, Cheqing; SELIGER, Günther. Energy-oriented layout planning for production facilities. In: LCM 2011, 2011, Berlim. Disponível em: <http://www.lcm2011.org/papers.html?file=tl_files/pdf/paper/18_Session_LCM_in_the_Manufacturing_Sector/5_Wang-Energy-oriented_layout_planning_for_production_facilities-649_b.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2014.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T.; ROOS, Daniel. **Lean Thinking:** Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Nova York: Simon & Shuster, 2003.

APÊNDICE A- Arquivo de chegadas

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrencias	Frequencia	modelo	Tempo_OP10	Tempo_OP20	Tempo_OP30
A	Entradas	8	0	1		1	4	4,8	4,5
D	Entradas	0		1		2	5,8	6,8	6,2
F	Entradas	100		1		3	4,8	5,5	3
H	Entradas	0		1		4	7	8	6,5
A	Entradas	18	1440	1		1	4	4,8	4,5
D	Entradas	4		1		2	5,8	6,8	6,2
F	Entradas	84		1		3	4,8	5,5	3
H	Entradas	2		1		4	7	8	6,5
A	Entradas	18	2880	1		1	4	4,8	4,5
D	Entradas	2		1		2	5,8	6,8	6,2
F	Entradas	62		1		3	4,8	5,5	3
H	Entradas	0		1		4	7	8	6,5
A	Entradas	14	4320	1		1	4	4,8	4,5
D	Entradas	0		1		2	5,8	6,8	6,2
F	Entradas	36		1		3	4,8	5,5	3
H	Entradas	0		1		4	7	8	6,5
A	Entradas	16	5760	1		1	4	4,8	4,5
D	Entradas	2		1		2	5,8	6,8	6,2
F	Entradas	72		1		3	4,8	5,5	3
H	Entradas	2		1		4	7	8	6,5

APÊNDICE B - Transcrição de texto: modelo base

Tempo: Minutos
Distância: Metros

* **Locais** *

Nome	Cap	Unidade	Estatísticas	Regras	Custo
Máquina_OP10 1	1		Série de Tempo	O Mais Velho,	,
Máquina_OP20 1	1		Série de Tempo	O Mais Velho,	,
Máquina_OP30 1	1		Série de Tempo	O Mais Velho,	,
Entradas	inf	1	Série de Tempo	O Mais Velho,	,
Saída	12	1	Série de Tempo	O Mais Velho,	,
EstoqueI_1	6	1	Série de Tempo	O Mais Velho,	,
EstoqueI_2	6	1	Série de Tempo	O Mais Velho,	,

* **Paradas de setup para Locais** *

Loc	Entidade	Entidade Anterior	Lógica
Máquina_OP10	D	A	wait 60 INC V_setupOP10, 60
	F	A	wait 60 INC V_setupOP10, 60
	H	A	wait 180 INC V_setupOP10, 180
	A	D	wait 60 INC V_setupOP10, 60
	F	D	wait 120 INC V_setupOP10, 120
	H	D	wait 180 INC V_setupOP10, 180
	A	F	wait 60 INC V_setupOP10, 60
	D	F	wait 180 INC V_setupOP10, 180
	H	F	wait 240 INC V_setupOP10, 240
	A	H	wait 120 INC V_setupOP10, 120
	D	H	wait 300 INC V_setupOP10, 300
	F	H	wait 240 INC V_setupOP10, 240
Máquina_OP20	D	A	wait 60 INC V_setupOP20, 60
	F	A	wait 120 INC V_setupOP20, 120
	H	A	wait 120 INC V_setupOP20, 120
	A	D	wait 60 INC V_setupOP20, 60
	F	D	wait 60 INC V_setupOP20, 60

	H	D	wait 240 INC V_setupOP20, 240
	A	F	wait 120 INC V_setupOP20, 120
	D	F	wait 180 INC V_setupOP20, 180
	H	F	wait 240 INC V_setupOP20, 240
	A	H	wait 180 INC V_setupOP20, 180
	D	H	wait 180 INC V_setupOP20, 180
	F	H	wait 240 INC V_setupOP20, 240
Máquina_OP30	D	A	WAIT 120 INC V_setupOP30, 120
	F	A	WAIT 60 INC V_setupOP30, 60
	H	A	WAIT 120 INC V_setupOP30, 120
	A	D	WAIT 60 INC V_setupOP30, 60
	F	D	WAIT 180 INC V_setupOP30, 180
	H	D	WAIT 120 INC V_setupOP30, 120
	A	F	WAIT 120 INC V_setupOP30, 120
	D	F	WAIT 180 INC V_setupOP30, 180
	H	F	WAIT 120 INC V_setupOP30, 120
	A	H	WAIT 240 INC V_setupOP30, 240
	D	H	WAIT 60 INC V_setupOP30, 60
	F	H	WAIT 180 INC V_setupOP30, 180

* **Entidades** *

Nome	Velocidade (mpm)	Estatísticas	Custo
A	50	Série de Tempo	
D	50	Série de Tempo	
F	50	Série de Tempo	
H	50	Série de Tempo	

* **Redes de Caminho** *

Nome	Tipo	T/S	De	Para	BI	String	Fator de Velocidade
OP1020	Passante	Velocidade & Distância	R1	R2	Bi	2	5
			R3	R1	Bi	1	1
			R4	R2	Bi	2	5
			R1	R4	Bi	2	5

			R5	R1	Bi	1	1
			R5	R3	Bi	1	1
			R5	R4	Bi	1	5
			R5	R2	Bi	2	1
OP2030	Passante	Velocidade & Distância	R1	R2	Bi	2	1
			R2	R3	Bi	1	1
			R1	R4	Bi	1	1
			R4	R2	Bi	1	1
			R1	R5	Bi	1	1
			R5	R4	Bi	1	1
			R5	R2	Bi	1	1
			R5	R3	Bi	1	1

* **Interfaces** *

Red	Nó	Local
OP1020	R1	Máquina_OP10
	R2	Máquina_OP20
	R3	Entradas
	R4	EstoqueI_1
OP2030	R1	Máquina_OP20
	R2	Máquina_OP30
	R3	Saída
	R4	EstoqueI_2

* **Mapeamento** *

Red	De	Para	Dest
OP1020	R2	R1	
	R3	R1	
	R4	R1	
	R5	R1	
	R1	R2	
	R4	R2	
	R5	R2	
	R1	R3	
	R4	R5	
	R5	R3	
	R1	R4	
	R2	R4	
	R3	R5	
	R5	R4	
	R1	R5	
	R2	R5	
OP2030	R2	R1	
	R3	R5	
	R4	R1	
	R5	R1	
	R1	R2	
	R3	R2	
	R4	R2	
	R5	R2	
	R1	R5	
	R2	R3	
	R5	R3	

R1 R4
R2 R4
R5 R4
R2 R5
R4 R5

* Recursos *

Nome	Unid	Rec Estatísticas	Ent Pesquisar	Pesquisar	Caminho	Movimentação	Custo
Func1	1	Por Unidade	Mais Próximo	Mais Velha	OP1020 Base: R5 (Retornar)	Vazio: 50 mpm Cheio: 50 mpm	
Func2	1	Por Unidade	Mais Próximo	Mais Próxima	OP2030 Base: R5 (Retornar)	Vazio: 50 mpm Cheio: 50 mpm	

* Processamento *

Entidade	Local	Processo Operação	Bl	Roteamento Saída	Destino	Regra	Lógica de Movimento
ALL	Entradas						
		1	ALL	Máquina_OP10	FIRST 1		WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0) WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1) MOVE WITH Func1 wait 5 sec free Func1
ALL	Máquina_OP10	V_tinicio10=clock() V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10) inc V_esp10, V_auxesp10 wait Tempo_OP10 INC V_operandoOP10, tempo_OP10 V_tfim10=clock()					
		1	ALL	Máquina_OP20	FULL 1		MOVE WITH Func1 wait 5 sec free Func1
ALL	Máquina_OP20	V_tinicio20=clock() V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20) inc V_esp20, V_auxesp20 wait Tempo_OP20 INC V_operandoOP20, tempo_OP20 V_tfim20=clock()					
		1	ALL	Máquina_OP30	FIRST 1		MOVE WITH Func2

```
                                        wait 5 sec
                                        free Func2

ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
            V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
            inc V_esp30, V_auxesp30
            wait Tempo_OP30
            INC V_operandoOP30, tempo_OP30
            V_tfim30=clock()

                    1   ALL     Saída     FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2

ALL     Saída     inc VSaida, 1

            group 12
                    1   ALL     EXIT      FIRST 1
```

* Designações de Turno *

Locais...	Recursos...	Arquivo de Calendário...	Prioridades...	Desabilitar Lógica...
	Func1	turnoA.sft	99,99,99,99	Não
	Func2			

* Atributos *

Nome	Tipo	Classificação
tempo_OP10	Inteiro	Entidade
tempo_OP20	Inteiro	Entidade
tempo_OP30	Inteiro	Entidade
consumo_OP10	Inteiro	Entidade
consumo_OP20	Inteiro	Entidade
consumo_OP30	Inteiro	Entidade
Versao7	Inteiro	Entidade
Versao8	Inteiro	Entidade
Modelo	Inteiro	Entidade

* Variáveis (globais) *

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
V_setupOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
VSaida	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim30	Inteiro	0	Série de Tempo

V_tinicio10	Inteiro	0	Série de Tempo	V_auxesp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio20	Inteiro	0	Série de Tempo				
V_tinicio30	Inteiro	0	Série de Tempo	V_auxesp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp10	Inteiro	0	Série de Tempo				
V_esp20	Inteiro	0	Série de Tempo	V_auxesp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp30	Inteiro	0	Série de Tempo				

* Arquivos Externos *

Nome	Tipo	Nome de Arquivo Prompt
Chegadas	Chegada	Chegadas2.xls
Turno	Turno	turnoA.sft

APÊNDICE C – Modificações feitas do modelo Base para o modelo A

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *
 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeentradas=contents(Entradas)
                                     while V_qtdeentradas<1 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeentradas=contents(Entradas)
                                     End
                                     V_fimdown10=clock()
                                     V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                     INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                     while V_qtdeEstoqueI_1<1 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                     End
                                     V_fimdown20=clock()
                                     V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                     INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                     while V_qtdeEstoqueI_2<1 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                     End
                                     V_fimdown30=clock()
                                     V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                     INC V_down30, V_auxdown30


*                    Processamento                    *
                    Processo              Roteamento

 Entidade Local       Operação           Bl   Saída    Destino      Regra    Lógica de Movimento
 -------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
 ALL      Entradas


                                 1    ALL      Máquina_OP10 FIRST 1
                                                WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                                WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)


                                                MOVE WITH Func1
                                                wait 5 sec
                                                free Func1
```

```
ALL     Máquina_OP10 V_tinicio10=clock()
            V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
            inc V_esp10, V_auxesp10
            wait Tempo_OP10
            INC V_operandoOP10, tempo_OP10
            V_tfim10=clock()

            if (contents(Entradas)=0)
            then DOWN Desligar10
            else
            wait 0


                        1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
            V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
            inc V_esp20, V_auxesp20
            wait Tempo_OP20
            INC V_operandoOP20, tempo_OP20
            V_tfim20=clock()

            if contents(EstoqueI_1)<1
            then
            DOWN Desligar20
            else
            wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)


                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
            V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
            inc V_esp30, V_auxesp30
```

```
wait Tempo_OP30
INC V_operandoOP30, tempo_OP30
V_tfim30=clock()


if contents(EstoqueI_2)<1
then
DOWN Desligar30
else wait 0        1   ALL     Saída       FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                           wait 5 sec
                                           free Func2

ALL     Saída       inc VSaida, 1

group 12           1   ALL     EXIT        FULL 1


*                    Variáveis (globais)                    *
 Nome            Tipo        Valor Inicial Estatísticas
 ---------------- ------------ ------------- --------------
 V_setupOP10     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_setupOP20     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_setupOP30     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_operandoOP10    Inteiro       0              Série de
Tempo
 V_operandoOP20    Inteiro       0              Série de
Tempo
 V_operandoOP30    Inteiro       0              Série de
Tempo
 VSaida          Inteiro     0          Série de Tempo
 V_tfim10        Inteiro     0          Série de Tempo
 V_tfim20        Inteiro     0          Série de Tempo
 V_tfim30        Inteiro     0          Série de Tempo
 V_tinicio10     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_tinicio20     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_tinicio30     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_esp10         Inteiro     0          Série de Tempo
 V_esp20         Inteiro     0          Série de Tempo
 V_esp30         Inteiro     0          Série de Tempo
 V_auxesp10      Inteiro     0          Série de Tempo
 V_auxesp20      Inteiro     0          Série de Tempo
 V_auxesp30      Inteiro     0          Série de Tempo
 V_iniciodown10  Inteiro     0          Série de Tempo
 V_fimdown10     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_auxdown10     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_down10        Inteiro     0          Série de Tempo
 V_qtdeentradas  Inteiro     0          Série de Tempo
 V_iniciodown20  Inteiro     0          Série de Tempo
 V_qtdeEstoqueI_1 Inteiro       0              Série de
Tempo
 V_fimdown20     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_auxdown20     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_down20        Inteiro     0          Série de Tempo
 V_iniciodown30  Inteiro     0          Série de Tempo
 V_qtdeEstoqueI_2 Inteiro       0              Série de
Tempo
 V_fimdown30     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_auxdown30     Inteiro     0          Série de Tempo
 V_down30        Inteiro     0          Série de Tempo
```

APÊNDICE C Modificações feitas do modelo Base para o modelo B

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *

 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                      wait 20 min
                                      V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                      while V_qtdeentradas>2 do
                                      Begin
                                      wait 1sec
                                      V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                      End
                                      V_fimdown10=clock()
                                      V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                      INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                      wait 20 min
                                      V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_2)
                                      while V_qtdeEstoqueI_1>2 do
                                      Begin
                                      wait 1sec
                                      V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_2)
                                      End
                                      V_fimdown20=clock()
                                      V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                      INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                      wait 20 min
                                      V_qtdeEstoqueI_2=contents(Saída)
                                      while V_qtdeEstoqueI_2>2 do
                                      Begin
                                      wait 1sec
                                      V_qtdeEstoqueI_2=contents(Saída)
                                      End
                                      V_fimdown30=clock()
                                      V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                      INC V_down30, V_auxdown30


*                          Recursos                          *

                        Rec          Ent
 Nome     Unid  Estatísticas Pesquisar   Pesquisar   Caminho   Movimentação  Custo
 -------- ----- ----------- ------------ ------------ ---------- ------------- ------------
 Func1    1     Por Unidade Mais Próximo Mais Velha   OP1020     Vazio: 50 mpm
                                      Base: R5   Cheio: 50 mpm
                                      (Retornar)

 Func2    1     Por Unidade Mais Próximo Mais Próxima OP2030     Vazio: 50 mpm
                                      Base: R5   Cheio: 50 mpm
                                      (Retornar)


*                        Processamento                        *

                       Processo                Roteamento
```

```
Entidade Local      Operação          Bl  Saída   Destino     Regra   Lógica de Movimento
-------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
ALL     Entradas


                        1   ALL     Máquina_OP10 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)


                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP10
            V_tinicio10=clock()
            V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
            inc V_esp10, V_auxesp10
            wait Tempo_OP10
            INC V_operandoOP10, tempo_OP10
            V_tfim10=clock()

            if contents(EstoqueI_1)=6
            then DOWN Desligar10
            else
            wait 0



                        1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
            V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
            inc V_esp20, V_auxesp20
            wait Tempo_OP20
            INC V_operandoOP20, tempo_OP20
            V_tfim20=clock()

            if
            contents(EstoqueI_2)=6
            then
            DOWN Desligar20
            else
```

```
        wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)


                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
        V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
        inc V_esp30, V_auxesp30
        wait Tempo_OP30
        INC V_operandoOP30, tempo_OP30
        V_tfim30=clock()


        if contents(Saída)=12
        then
        DOWN Desligar30
        else wait 0     1   ALL     Saída       FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     Saída       inc VSaida, 1

        group 12        1   ALL     EXIT        FULL 1


*                   Designações de Turno                    *

 Locais...  Recursos... Arquivos de Turno... Prioridades... Desabilitar Lógica...
 ---------- ---------- -------------------- -------------- ----------- ------------------
        Func1       turnoA.sft          99,99,99,99    Não
        Func2


*                       Atributos                       *

 Nome        Tipo        Classificação
 ------------ ------------ -------------
 tempo_OP10   Inteiro     Entidade
 tempo_OP20   Inteiro     Entidade
 tempo_OP30   Inteiro     Entidade
 consumo_OP10 Inteiro     Entidade
 consumo_OP20 Inteiro     Entidade
 consumo_OP30 Inteiro     Entidade
 Versao7      Inteiro     Entidade
```

Versao8 Inteiro Entidade
Modelo Inteiro Entidade

* Variáveis (globais) *

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
V_setupOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
VSaida	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeentradas	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_1	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_2	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo

APÊNDICE D - Modificações feitas do modelo Base para o modelo C

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *

 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeentradas=contents(Entradas)
                                     while V_qtdeentradas<6 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeentradas=contents(Entradas)
                                     End
                                     V_fimdown10=clock()
                                     V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                     INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                     while V_qtdeEstoqueI_1<6 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                     End
                                     V_fimdown20=clock()
                                     V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                     INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                     while V_qtdeEstoqueI_2<6 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                     End
                                     V_fimdown30=clock()
                                     V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                     INC V_down30, V_auxdown30


*                         Processamento                         *

                        Processo                Roteamento

 Entidade Local       Operação            Bl   Saída    Destino      Regra    Lógica de Movimento
 -------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
 ALL      Entradas


                                  1    ALL      Máquina_OP10 FIRST 1
                                                     WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                                     WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)


                                                     MOVE WITH Func1
                                                     wait 5 sec
                                                     free Func1
```

```
ALL     Máquina_OP10 V_tinicio10=clock()
            V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
            inc V_esp10, V_auxesp10
            wait Tempo_OP10
            INC V_operandoOP10, tempo_OP10
            V_tfim10=clock()

            if contents(Entradas)=0
            then DOWN Desligar10
            else
            wait 0


                        1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
            V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
            inc V_esp20, V_auxesp20
            wait Tempo_OP20
            INC V_operandoOP20, tempo_OP20
            V_tfim20=clock()

            if
            contents(EstoqueI_1)=0
            then
            DOWN Desligar20
            else
            wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)


                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2
```

```
ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
            V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
            inc V_esp30, V_auxesp30
            wait Tempo_OP30
            INC V_operandoOP30, tempo_OP30
            V_tfim30=clock()


            if contents(EstoqueI_1)=0
            then
            DOWN Desligar30
            else wait 0        1    ALL     Saída       FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                                    wait 5 sec
                                                    free Func2



ALL     Saída       inc VSaida, 1

            group 12

                        1    ALL     EXIT        FULL 1
```

* Variáveis (globais) *

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
V_setupOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
VSaida	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeentradas	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_1	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_2	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo

APÊNDICE E - Modificações feitas do modelo Base para o modelo D

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *

 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                    wait 20 min
                                    V_qtdeentradas=contents(Entradas)
                                    while V_qtdeentradas<6 do
                                    Begin
                                    wait 1sec
                                    V_qtdeentradas=contents(Entradas)
                                    End
                                    V_fimdown10=clock()
                                    V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                    INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                    wait 20 min
                                    V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                    while V_qtdeEstoqueI_1<6 do
                                    Begin
                                    wait 1sec
                                    V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                    End
                                    V_fimdown20=clock()
                                    V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                    INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                    wait 20 min
                                    V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                    while V_qtdeEstoqueI_2<6 do
                                    Begin
                                    wait 1sec
                                    V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                    End
                                    V_fimdown30=clock()
                                    V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                    INC V_down30, V_auxdown30

*                    Processamento                    *

                    Processo                Roteamento

Entidade Local       Operação           Bl   Saída    Destino      Regra    Lógica de Movimento
-------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
ALL      Entradas


                                 1    ALL      Máquina_OP10 FIRST 1
                                                WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                                WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)


                                                MOVE WITH Func1
                                                wait 5 sec
                                                free Func1
```

```
ALL     Máquina_OP10 V_tinicio10=clock()
            V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
            inc V_esp10, V_auxesp10
            wait Tempo_OP10
            INC V_operandoOP10, tempo_OP10
            V_tfim10=clock()

            if contents(EstoqueI_1)=6
            then DOWN Desligar10
            else
            wait 0


                        1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
            V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
            inc V_esp20, V_auxesp20
            wait Tempo_OP20
            INC V_operandoOP20, tempo_OP20
            V_tfim20=clock()

            if
            contents(EstoqueI_1)=0
            then
            DOWN Desligar20
            else
            wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)


                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2
```

```
ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
            V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
            inc V_esp30, V_auxesp30
            wait Tempo_OP30
            INC V_operandoOP30, tempo_OP30
            V_tfim30=clock()


            if contents(EstoqueI_1)=0
            then
            DOWN Desligar30
            else wait 0        1    ALL     Saída       FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                                    wait 5 sec
                                                    free Func2



ALL     Saída       inc VSaida, 1

            group 12

                        1    ALL     EXIT        FULL 1
```

* Variáveis (globais) *

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
V_setupOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
VSaida	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeentradas	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_1	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_2	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo

APÊNDICE F - Modificações feitas do modelo Base para o modelo E

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *

 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                      wait 20 min
                                      V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                      while V_qtdeentradas>2 do
                                      Begin
                                      wait 1sec
                                      V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                      End
                                      V_fimdown10=clock()
                                      V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                      INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                      wait 20 min
                                      V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                      while V_qtdeEstoqueI_1<6 do
                                      Begin
                                      wait 1sec
                                      V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                      End
                                      V_fimdown20=clock()
                                      V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                      INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                      wait 20 min
                                      V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                      while V_qtdeEstoqueI_2<6 do
                                      Begin
                                      wait 1sec
                                      V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                      End
                                      V_fimdown30=clock()
                                      V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                      INC V_down30, V_auxdown30

*                    Processamento                    *

                    Processo                Roteamento

 Entidade Local       Operação            Bl   Saída    Destino      Regra    Lógica de Movimento
 -------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
 ALL      Entradas
```

```
                    1   ALL     Máquina_OP10 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)


                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP10 V_tinicio10=clock()
        V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
        inc V_esp10, V_auxesp10
        wait Tempo_OP10
        INC V_operandoOP10, tempo_OP10
        V_tfim10=clock()

        if contents(EstoqueI_1)=6
        then DOWN Desligar10
        else
        wait 0


                    1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
        V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
        inc V_esp20, V_auxesp20
        wait Tempo_OP20
        INC V_operandoOP20, tempo_OP20
        V_tfim20=clock()

        if
        contents(EstoqueI_1)=0
        then
        DOWN Desligar20
        else
        wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)
```

```
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2

ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
        V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
        inc V_esp30, V_auxesp30
        wait Tempo_OP30
        INC V_operandoOP30, tempo_OP30
        V_tfim30=clock()

        if contents(EstoqueI_1)=0
        then
        DOWN Desligar30
        else wait 0     1   ALL     Saída     FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2

ALL     Saída     inc VSaida, 1

        group 12

                1   ALL     EXIT      FULL 1
```

```
*                          Variáveis  (globais)
*
 Nome            Tipo        Valor Inicial Estatísticas
 ---------------- ------------ ------------- --------------
 V_setupOP10      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_setupOP20      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_setupOP30      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_operandoOP10   Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_operandoOP20   Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_operandoOP30   Inteiro     0             Série de
Tempo
 VSaida          Inteiro    0          Série de Tempo
 V_tfim10         Inteiro    0          Série de Tempo
 V_tfim20         Inteiro    0          Série de Tempo
 V_tfim30         Inteiro    0          Série de Tempo
 V_tinicio10      Inteiro    0          Série de Tempo
 V_tinicio20      Inteiro    0          Série de Tempo
 V_tinicio30      Inteiro    0          Série de Tempo
 V_esp10         Inteiro    0          Série de Tempo
 V_esp20         Inteiro    0          Série de Tempo
 V_esp30         Inteiro    0          Série de Tempo
 V_auxesp10      Inteiro    0          Série de Tempo
 V_auxesp20      Inteiro    0          Série de Tempo
 V_auxesp30      Inteiro    0          Série de Tempo
 V_iniciodown10   Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_fimdown10      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_auxdown10      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_down10        Inteiro    0          Série de Tempo
 V_qtdeentradas   Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_iniciodown20   Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_qtdeEstoqueI_1 Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_fimdown20      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_auxdown20      Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_down20        Inteiro    0          Série de Tempo
 V_iniciodown30   Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_qtdeEstoqueI_2 Inteiro     0             Série de
Tempo
 V_fimdown30      Inteiro     0             Série de
Tempo
```

V_auxdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_intervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxintervalo30	Inteiro	0	Série de Tempo

APÊNDICE G - Modificações feitas do modelo Base para o modelo F

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *

 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                     while V_qtdeentradas>2 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                     End
                                     V_fimdown10=clock()
                                     V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                     INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                     while V_qtdeEstoqueI_1<1 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                     End
                                     V_fimdown20=clock()
                                     V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                     INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                     wait 20 min
                                     V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                     while V_qtdeEstoqueI_2<1 do
                                     Begin
                                     wait 1sec
                                     V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                     End
                                     V_fimdown30=clock()
                                     V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                     INC V_down30, V_auxdown30



*                         Processamento                         *


                        Processo              Roteamento

Entidade Local       Operação           Bl   Saída    Destino      Regra    Lógica de Movimento
-------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
ALL      Entradas


                                1    ALL      Máquina_OP10 FIRST 1
                                                   WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                                   WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)
```

```
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1

ALL     Máquina_OP10 V_tinicio10=clock()
        V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
        inc V_esp10, V_auxesp10
        wait Tempo_OP10
        INC V_operandoOP10, tempo_OP10
        V_tfim10=clock()

        if contents(EstoqueI_1)=6
        then DOWN Desligar10
        else
        wait 0

                1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1

ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1

ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
        V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
        inc V_esp20, V_auxesp20
        wait Tempo_OP20
        INC V_operandoOP20, tempo_OP20
        V_tfim20=clock()

        if contents(EstoqueI_1)<1
        then
        DOWN Desligar20
        else
        wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2

ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)

                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2
```

```
ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
            V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
            inc V_esp30, V_auxesp30
            wait Tempo_OP30
            INC V_operandoOP30, tempo_OP30
            V_tfim30=clock()


            if contents(EstoqueI_2)<1
            then
            DOWN Desligar30
            else wait 0        1   ALL     Saída       FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                                  wait 5 sec
                                                  free Func2



ALL     Saída       inc VSaida, 1

            group 12           1   ALL     EXIT        FULL 1


*                   Variáveis (globais)                    *
```

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
V_setupOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
VSaida	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeentradas	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_1	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_2	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down30	Inteiro	0	Série de Tempo

APÊNDICE H - Modificações feitas do modelo Base para o modelo G

```
*                    Paradas chamadas para Locais                    *

 Loc          Nome       Prioridade   Planejado Lógica
 ------------ ---------- ------------ --------- ------------------
 Máquina_OP10 Desligar10 99           Não       V_iniciodown10=clock()
                                    wait 20 min
                                    V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                    while V_qtdeentradas>2 do
                                    Begin
                                    wait 1sec
                                    V_qtdeentradas=contents(EstoqueI_1)
                                    End
                                    V_fimdown10=clock()
                                    V_auxdown10=V_fimdown10-V_iniciodown10
                                    INC V_down10, V_auxdown10

 Máquina_OP20 desligar20 99           Não       V_iniciodown20=clock()
                                    wait 20 min
                                    V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                    while V_qtdeEstoqueI_1<1 do
                                    Begin
                                    wait 1sec
                                    V_qtdeEstoqueI_1=contents(EstoqueI_1)
                                    End
                                    V_fimdown20=clock()
                                    V_auxdown20=V_fimdown20-V_iniciodown20
                                    INC V_down20, V_auxdown20

 Máquina_OP30 desligar30 99           Não       V_iniciodown30=clock()
                                    wait 20 min
                                    V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                    while V_qtdeEstoqueI_2<1 do
                                    Begin
                                    wait 1sec
                                    V_qtdeEstoqueI_2=contents(EstoqueI_2)
                                    End
                                    V_fimdown30=clock()
                                    V_auxdown30=V_fimdown30-V_iniciodown30
                                    INC V_down30, V_auxdown30


*                    Processamento                    *

                    Processo              Roteamento

 Entidade Local      Operação           Bl   Saída    Destino     Regra    Lógica de Movimento
 -------- ------------ ------------------   ---- -------- ------------ -------  ------------
 ALL      Entradas


                                1    ALL      Máquina_OP10 FIRST 1
                                                  WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP10) = 0)
                                                  WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP10)= 1)


                                                  MOVE WITH Func1
                                                  wait 5 sec
                                                  free Func1
```

```
ALL     Máquina_OP10 V_tinicio10=clock()
            V_auxesp10=(V_tinicio10-V_tfim10)
            inc V_esp10, V_auxesp10
            wait Tempo_OP10
            INC V_operandoOP10, tempo_OP10
            V_tfim10=clock()

            if contents(EstoqueI_1)=6
            then DOWN Desligar10
            else
            {
            if  (contents(Entradas)=0)
            then DOWN Desligar10
            else
            wait 0
            }


                        1   ALL     EstoqueI_1   FULL 1
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     EstoqueI_1              1   ALL     Máquina_OP20 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP20) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP20)= 1)
                                        MOVE WITH Func1
                                        wait 5 sec
                                        free Func1


ALL     Máquina_OP20 V_tinicio20=clock()
            V_auxesp20=(V_tinicio20-V_tfim20)
            inc V_esp20, V_auxesp20
            wait Tempo_OP20
            INC V_operandoOP20, tempo_OP20
            V_tfim20=clock()

            if contents(EstoqueI_1)<1
            then
            DOWN Desligar20
            else
            wait 0          1   ALL     EstoqueI_2   FIRST 1
                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     EstoqueI_2              1   ALL     Máquina_OP30 FIRST 1
                                        WAIT UNTIL (CONTENTS(Máquina_OP30) = 0)
                                        WAIT UNTIL (LOCSTATE(Máquina_OP30)= 1)


                                        MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
```

```
                                        free Func2

ALL     Máquina_OP30 V_tinicio30=clock()
            V_auxesp30=(V_tinicio30-V_tfim30)
            inc V_esp30, V_auxesp30
            wait Tempo_OP30
            INC V_operandoOP30, tempo_OP30
            V_tfim30=clock()


            if contents(EstoqueI_2)<1
            then
            DOWN Desligar30
            else wait 0        1   ALL     Saída       FIRST 1  MOVE WITH Func2
                                        wait 5 sec
                                        free Func2


ALL     Saída       inc VSaida, 1

            group 12           1   ALL     EXIT        FULL 1
```

* Variáveis (globais) *

Nome	Tipo	Valor Inicial	Estatísticas
V_setupOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_setupOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_operandoOP30	Inteiro	0	Série de Tempo
VSaida	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tfim30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_tinicio30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_esp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxesp30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down10	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeentradas	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_1	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down20	Inteiro	0	Série de Tempo
V_iniciodown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_qtdeEstoqueI_2	Inteiro	0	Série de Tempo
V_fimdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_auxdown30	Inteiro	0	Série de Tempo
V_down30	Inteiro	0	Série de Tempo