

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA
EM SISTEMAS PRODUTIVOS

NEEMIAS DE MACEDO FERREIRA

OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO

São Paulo

Maior/2017

NEEMIAS DE MACEDO FERREIRA

OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação do Profa. Dra. Maria Lúcia Pereira da Silva

São Paulo

Maio/2017

F383o Ferreira, Neemias de Macedo
Otimização da produção de pequenos lotes de placas de circuito
impresso / Neemias de Macedo Ferreira. – São Paulo : CPS, 2017.
93 f. : il.

Orientador: Profa. Dra. Maria Lucia Pereira da Silva.
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em
Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica
Paula Souza, 2017.

1. PCI. 2. ERP. 3. Otimização de produção. 4. Produção mista.
5. Cronoanálise. I. Silva, Maria Lucia Pereira da. II. Centro Estadual
de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

NEEMIAS DE MACEDO FERREIRA

OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO

Profa. Dra. Maria Lúcia Pereira da Silva

Profa. Dra Ana Neilde Rodrigues da Silva

Profa. Dra. Celi Langhi

São Paulo, 29 de Maio de 2017

À Deus, por Ele e para Ele, são todas as coisas,
À Janayna e Lucas, pela paciência e compreensão

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por conceder a oportunidade de ampliar conhecimentos e colocá-los em prática. Sou grato a minha esposa, Janayna, meu filho Lucas, meus Pais e irmãos, que são alicerce para encarar desafios e me ajudar a não esmorecer nas dificuldades.

Aos amigos, que compreenderam as ausências e me apoiaram. Aos colegas do programa de mestrado, pelas experiências compartilhadas que ajudaram na caminhada. Agradeço de forma especial a Profa Malú, pela orientação, paciência e motivação nos tempos difíceis.

Agradeço também ao Centro Paula Souza, aos professores e estrutura de apoio, que me ajudaram muito no desenvolvimento tecnológico e também pelas experiências obtidas tanto no Brasil como no exterior.

Toda gratidão a Micropress Ltda, especialmente a Direção, Gilmar e Gilmar Júnior, por conceder o espaço como fonte de pesquisa, e a equipe, por sua solicitude e competência, e que sempre compreendeu as ações como formas de buscar sempre ser melhor.

“Por isso mesmo, empenhem-se para
acrescentar à sua fé a virtude;
à virtude o conhecimento;
ao conhecimento o domínio próprio;
ao domínio próprio a perseverança;
à perseverança a piedade;
à piedade a fraternidade;
e à fraternidade o amor.

2 Pedro 1: 5 – 7 (NVI)

RESUMO

FERREIRA, N. M. **Otimização da produção de pequenos lotes de placas de circuito impresso.** 93 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2017.

A quantidade de processos envolvidos na produção de uma placa de circuito impresso (PCI), as características de cada lote, e a sua concatenação levam a perdas de tempo na operação e pode impactar na satisfação do cliente por causa de atrasos na entrega. A competitividade entre a Indústria Brasileira e a Asiática colabora para o ambiente desafiador deste segmento. Desta forma, este trabalho teve como objetivo a otimização de uma linha de produção de PCI em uma fábrica de alta tecnologia voltada para a produção em tempo curto de pequenos lotes e lotes pilotos. Utilizando-se de ferramentas da qualidade, esta pesquisa, de caráter exploratório e experimental, teve como foco a obtenção de um modelo de controle que otimize o consumo dos recursos, facilite gestão durante flutuações de mercado e ajude na tomada de decisões. Foram testadas duas possibilidades de otimização: por software e por análise de restrições. A primeira não se mostrou satisfatória, porém melhorias incrementais levaram à segunda possibilidade, com características de produção mista, em perfil *jobbing* e que, através da cronoanálise, permitiu obter um modelo simples, baseado em planilhas Excel®. Isto possibilitou gerenciar a produção, reduzindo os picos de instabilidade, com melhor organização, previsibilidade e flexibilidade na linha de produção. Pelo aspecto ambiental, foi apresentada uma possibilidade de ganhos econômicos pela formação de simbiose industrial entre produtores de PCI e de fornecedores de tratamento de superfície.

Palavras Chave: PCI; ERP; otimização de produção; produção mista; cronoanálise

ABSTRACT

FERREIRA, N. M. **Otimização da produção de pequenos lotes de placas de circuito impresso.** 93 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Desenvolvimento da Educação Profissional). Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2017.

The whole amount of process in a printed circuit board (PCB), each batches' features and its concatenation lead to waste in the operation as well as impact in the customer's satisfaction, because the batch may not be delivered in the foreseen time. Besides, Asia competition also supplies PCB's in short time, bringing up the competitiveness between Brazilian and Asian industry. Then, this study aimed to optimize a PCB production line in a high technology factory focused in quick turn batches and NPI (New Product Introduction) or initial batch for evaluation. Using quality management tools, this exploratory and experimental research has been focused in getting a control model that could be able to optimize resource consumption, makes the management easier during market fluctuations and helps in the decision-making process. Two optimizing possibilities have been tested: process control by software and restriction analysis. In the first case, the solution was not satisfactory, however an incremental improvement led to the second possibility, with mixed production and jobbing profile that, through by chronoanalysis, allowed to get a simple model based on Excel® worksheets. This model allowed a management with few instability and better organization, predictability and flexibility in production line. Finally, by the environment aspect, it was presented a way to get financial gain by industrial symbiosis between PCB producers and surface treatment suppliers.

Keywords: PCB; ERP; production optimization; mixed production; chronoanalysis.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Processos de fabricação de placas de circuito impresso Dupla Face	38
Quadro 2: Processos adicionais para placas multicamadas	39
Quadro 3: Resumo da avaliação prévia dos aspectos produtivos da empresa.....	52
Quadro 4: Processos químicos e fotográficos.....	55
Quadro 5: Resumo da avaliação prévia dos aspectos ambientais da empresa.....	57
Quadro 6: Processos e numeração para referência	60
Quadro 7: Avaliação SWOT.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de citações por ano por palavra chave	34
Tabela 2: Comparação entre a composição de lodos galvânicos da área de tratamento de superfície (anodização) e de PCI.	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participação de cada tecnologia no total produzido	59
Gráfico 2: Duração dos processos (em horas e minutos) em função do número do processo para o lote 3234910	62
Gráfico 3: Horário de execução dos processos em função do número do processo para o lote 3234910	63
Gráfico 4: Tempo dos processos (em horas e minutos) para 25 lotes de placas Dupla Face e Face Simples em função do processo, conforme numeração apresentada no Quadro 6	64
Gráfico 5: Horário de execução do processo para 25 lotes de placas Dupla Face e Face Simples em função do processo, conforme numeração apresentada no Quadro 6	65
Gráfico 6: Utilização de capacidade Fabril de 2005 até 2008	71
Gráfico 7: Fluxo de Produção Projetado	76
Gráfico 8: Fluxo de produção Real após a implementação do Fluxo Projetado	78
Gráfico 9: Segundo fluxo de produção Real após a implementação do Fluxo Projetado	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Características de processos produtivos – Fonte: Slack, Johnston e Chambers (2002)	28
Figura 2: Decomposição dos processos de manufatura - Fonte: (Mohamed e Khan, 2012)....	28
Figura 3 Ciclo básico de tratamento de efluentes. Fonte: Adaptado de Brejão (2012).....	57
Figura 4: Localização Geográfica das empresas de tratamento de superfície no Estado de São Paulo	83
Figura 5: Localização Geográfica das produtoras de circuito impresso em SP	83

LISTA DE SIGLAS

- APS – *Advanced Planning and Scheduling*
- CAD – *Computer Aided Design*
- CAM – *Computer aided manufacturing*
- CMOS – *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*
- CNC – *Computer Numeric Control*
- CQ – Controle de Qualidade
- ERP – *Enterprise Resource Planning*
- ETE – Estação de tratamento de Efluentes
- HAL – *Hot Air Leveling*
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- IoT – *Internet of Things*
- JIT – *Just in Time*
- MIL – Milésimos de polegada
- MOS – *Metal-Oxide-Semiconductor*
- MRP – *Manufacturing Resource Planning*
- MRPII – *Manufacturing Resource Planning II*
- O&M – Organização e Métodos
- PCI – Placa de Circuito Impresso
- PDCA – *Plan, Do, Check, Act*
- SMD – *Surface Mounted Device*
- SWOT – *Strenght, Weakness, Opportunities and Threats*
- TI – Tecnologia da Informação
- UT – *Ultra Thin*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
Justificativa.....	16
Questão de pesquisa	19
Objetivo	20
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
1.1 Administração Científica	21
1.2 Tipos de sistemas produtivos	26
1.3 A importância da TI na gestão de produção	30
1.4 Uso de software para controle de produção	33
1.5 O Aspecto Sistêmico.....	34
1.6 Processo produtivo de placas de circuito impresso	37
2 MÉTODO.....	41
2.1 Avaliação quanto aos aspectos produtivos	43
2.2 Avaliação quanto aos aspectos ambientais	43
2.3 Proposta de modelo para otimização	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.1 Avaliação prévia da empresa	45
3.2 Compreensão do processo de produção	46
3.3 Compreensão dos aspectos ambientais	54
3.3.1 Considerações sobre os aspectos ambientais	58
3.4 Determinação do fluxo de Produção.....	58
3.4.1 Considerações sobre a análise crítica.....	67
3.5 Proposta de otimização da produção.....	69
3.5.1 Otimização dos aspectos produtivos – Utilização de <i>Software</i>	69
3.5.2 Controle das restrições do processo	74
3.6 Aspectos ambientais	80
CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	85
REFERÊNCIAS	87
ANEXO A – AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO ESTUDO NA EMPRESA MICROPRESS LTDA	93

INTRODUÇÃO

Para facilitar a compreensão deste trabalho, é de suma importância apresentar a justificativa e o contexto histórico no qual o estudo foi realizado. A presença da eletroeletrônica e consequente dependência na vida humana leva a necessidade de que estudos sejam realizados para melhoria dos processos produtivos, bem como o aumento da competitividade por empresas produtoras.

Justificativa

As últimas décadas do século XX, bem como o início deste, vivenciaram, e vivenciam, uma revolução tecnológica ímpar, tanto em intensidade como em velocidade de mudanças, o que levou muitos autores a proporem que uma nova era foi alcançada, a “Infoera” (ZUFFO, 2005) para alguns, o “Antropoceno” para outros (ARTAXO, 2014). O termo Infoera foca principalmente as mudanças ocorridas no setor eletroeletrônico, que impactaram praticamente todos os modos de produção de bens e serviços, além de promover grande mudança não só na forma como nas relações de emprego. Já o uso de antropoceno relaciona-se, primordialmente, à idéia das consequências dos impactos que os modos de produção e consumo criam no ambiente, mas também evoca uma “recusa decisiva da separação entre Natureza e Humanidade” (LATOUR, 2014, p.13).

Dentre os setores onde os fatores de inovação, economia verde e menor impacto ambiental se coadunam beneficentemente, o eletroeletrônico é o mais proeminente. Como atesta Lovelock (2006), a situação de insustentabilidade planetária seria muito mais crítica sem todas as ferramentas disponibilizadas por este setor. A eletroeletrônica possui características produtivas que causam impacto negativo ao ecossistema, mas o benefício advindo dos produtos gerados por este setor é relevante. Obtenção de energia elétrica de origem eólica ou solar, considerados tipos de energia limpas, por exemplo, só é possível com o auxílio da eletroeletrônica.

É necessário mencionar que a eletroeletrônica é um setor que engloba diversos componentes que, somados, formam dispositivos fundamentais para a vida humana. Capacitores, resistores, chips, são alguns dos componentes utilizados na eletroeletrônica, porém, o Circuito Impresso é o responsável por fazer a interligação e transmissão de dados

processados entre estes componentes e, desta forma, possui um papel preponderante e muito relevante na eletrônica atual. Além disso, os circuitos impressos possuem trajetória evolutiva de forma paralela a evolução do computador (CHURCH et al., 2013; BELL, 2008). Na década de 1950, o ser humano podia andar dentro de um computador. Nos dias atuais, o computador está dentro do ser humano. Esta situação pode ser representada pela evolução e miniaturização dos componentes eletrônicos usados para concepção do computador. Por exemplo, o uso das válvulas, de 1950 a 1960, seguido pelo transistor, de 1958 a 1970, evoluindo para circuitos integrados, de 1965 a 1985 e então, os Circuitos integrados MOS e CMOS, que se iniciou em 1975. De 1965 a 1971 foram criados os Circuitos Integrados de terceira geração, e de 1971 até os dias atuais, os circuitos integrados são chamados de quarta geração (BELL, 2008).

Esta evolução levou à criação da lei de Moore, em 1965, que prevê uma evolução do aumento da densidade de transistores por chip de forma exponencial. Esta redução nas dimensões dos processadores levou a indústria a oferecer dispositivos pequenos e de baixo custo, além da integração de diversos equipamentos que inicialmente eram vendidos separadamente – TVs, câmeras fotográficas, GPS, telefones - e agora convergiram para apenas um dispositivo, devido à imensa quantidade de operações lógicas que podem ser realizadas dentro de um componente BGA (*Ball Grid Array*) (BELL, 2008).

De acordo com Blowers et al. (2016), os dispositivos eletrônicos atuais, de características diminutas, onipresentes e conectados entre si oferecem possibilidades de acionamento e funcionamento remoto. Televisores, geladeiras, veículos, passaram a ter o devido acesso à internet. Desta forma, além do fornecer controle à distância, armazenam dados de acordo com o perfil de usuário, permitindo que o dispositivo se adeque de forma instantânea. Esta tecnologia é denominada Internet das Coisas (Internet of Things – IoT). Estes dispositivos são considerados inteligentes e contém componentes de escala nanométrica, e o circuito impresso possui fundamental importância na evolução, convergência e interconexão destes dispositivos (HODGES et al., 2013).

As placas de circuito impresso são a estrutura base da eletrônica em um grande número de dispositivos de consumo. Por isto são um componente crítico em quase todos os dispositivos eletrônicos (CHURCH et al., 2013). São produzidas, em sua grande parte, a partir de laminados com base em resina epóxi e fibra de vidro, recobertos com cobre e submetidos a processos mecânicos, químicos e fotográficos para definição do circuito e suas interconexões. Os circuitos impressos podem ser face simples, quando há circuito em apenas um dos lados,

dupla face, quando o circuito está nas duas faces, e multicamadas, quando a placa é composta por 3 ou mais circuitos interconectados em uma mesma placa (FERREIRA e SILVA, 2015; COOMBS e HOLDEN, 2016).

O mercado para PCIs, como para eletroeletrônicos em geral, é globalizado. A globalização, que permite obter facilmente matérias-primas e produtos acabados do mundo inteiro, por sua vez, aumenta a competitividade das empresas. A eficiência durante a produção e a redução de custos dos sistemas de produção têm grandes reflexos nos preços, tornando-os ainda menores. O prazo de entrega e a qualidade dos produtos tornaram-se diferenciais importantes na avaliação dos clientes. A ampla concorrência existente entre as empresas faz com que o consumidor leve em consideração outros detalhes, para decidir qual produto adquirir.

Apesar de globalizado, os fornecedores Chineses se destacam nesse mercado por serem os maiores produtores de manufaturados eletrônicos e responsáveis por 43% do faturamento global (WECC, 2013). Junto com os demais fornecedores asiáticos de placas de circuito impresso, é possível dizer que essa produção é em sua maioria asiática.

Assim, a partir destas premissas, em uma avaliação inicial, dentro do setor eletroeletrônico, uma área bastante negligenciada no Brasil, mas muito relevante, é a produção de placas de circuitos impressos (PCIs), as quais são encontradas em todos os equipamentos eletroeletrônicos, em maior ou menor grau, e são fundamentais para o funcionamento destes equipamentos. Além disso, a complexidade aumenta quanto maior for a tecnologia aplicada ao equipamento eletrônico. Por exemplo, uma PCI utilizada em celulares é muito mais complexa do que uma utilizada em um controle remoto de televisão.

Por muito tempo a qualidade dos produtos chineses foi questionada e ainda pode ser considerada uma das vantagens competitivas das empresas brasileiras, que ainda produzem produtos com mais qualidade do que as chinesas em termos gerais (CARMO, 2014). Porém em alguns segmentos este cenário está mudando, como no caso da indústria eletrônica de base¹ (LIMA, 2011). Por outro lado, contra as empresas asiáticas pesa o fator logístico, já que o tempo de traslado de navio de um continente a outro é longo e o transporte aéreo de grandes volumes é proibitivo pelos custos envolvidos nesta operação. Desta forma, o prazo de entrega em alguns casos ainda é um diferencial do mercado brasileiro, principalmente para indústrias que necessitam de velocidade para atender demandas que surgem inesperadamente.

¹ Entendida como as áreas da eletrônica com menor valor agregado ou menor complexidade de fabricação

Este efeito é minimizado caso seja possível que a empresa realize um planejamento prevendo o tempo de transporte de produtos, embora isto requeira estoques maiores, afetando o fluxo de caixa, já que se trata de recurso financeiro parado (OLIVEIRA, REZENDE e KOVALESKI, 2014).

Neste cenário, a possibilidade de sucesso no mercado atual, cada vez mais focado em competitividade e mutável ao longo do tempo, demanda uma rápida implementação de processos de produção flexíveis para a realização de um ajuste imediato da produção, que por sua vez é impactado tanto pelo ambiente de negócios quanto pelos clientes, que se tornam cada vez mais exigentes. Além disso, o perfil das indústrias evoluiu desde os anos 1970, cuja tônica predominante foi a redução de custos enquanto a melhoria da qualidade foi a temática dos anos 1980 e os anos 1990 foram focados na produção flexível. Todos estes tópicos se sobrepuseram, sem perder a importância, chegando ao período atual, caracterizado pelo foco na satisfação do cliente (MATUSZEK e MLECZKO, 2009).

Para satisfazer os clientes e combater a forte concorrência asiática, a flexibilidade e a diversificação de produtos, além da redução de prazos de entrega, têm sido uma saída bastante utilizada pelas empresas para criação de vantagem competitiva. O maquinário utilizado, que era antes focado em um tipo de negócio ou produto, teve de ser adequado ao novo momento. Porém, uma linha de produção flexível, de baixo custo, e que atenda uma gama variada de produtos requer um planejamento bastante cuidadoso, de forma a utilizar o máximo dos recursos (equipamentos, mão de obra, matéria prima) a um baixo custo operacional. Portanto, um dos maiores desafios dos gestores de produção nos dias atuais é encontrar o equilíbrio entre estes fatores, de forma que o custo operacional seja mínimo, sem afetar a qualidade e o prazo de produção dos lotes.

Questão de pesquisa

Uma das formas de atingir este equilíbrio é a otimização de processos na área de produção de placas de circuito impressos (PCI). Mas esta área produtiva apresenta uma série de dificuldades, devido às particularidades destes processos. Uma das particularidades que até o momento demandou pouca atenção é a produção de amostras em pequeno lote (também conhecido pelo mercado como protótipos) e com alto número de parâmetros de processos a serem executados, levando em consideração a complexidade existente em cada tipo de lote. De acordo com todos estes fatores, como otimizar a linha de produção de placas de circuito impresso?

Objetivo

Esse trabalho teve como questão central a otimização da produção em PCIs quando em pequenos lotes, portanto, o objetivo alcançado foi criar um modelo que otimiza os recursos e que também fornece condições para atuar tanto em situações conhecidas como em suas flutuações além de ajudar na tomada de ações nestes casos. Assim, os objetivos específicos – considerando que a metodologia se baseia em experimentação em campo - desse trabalho foram

- Avaliação sistêmica da empresa onde ocorre a pesquisa;
- Considerações sobre seus aspectos produtivos;
- Considerações sobre seus aspectos ambientais;
- Determinação de seus processos e o uso de ferramentas de qualidade em correlação com a otimização do processo;
- Proposta de modelo(s) para otimização;
- Teste desse(s) modelo(s) em condições controladas.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para tratar sobre otimização da produção é necessário embasar os estudos referenciando teoricamente conceitos como administração científica, tipos de sistemas produtivos, ferramentas que podem ser usadas para o gerenciamento da produção e como um circuito impresso é produzido. A relação entre estes temas é de fundamental importância para encontrar uma proposta de otimização para produção de placas de circuito impresso.

1.1 Administração Científica

Um dos maiores nomes da administração clássica, Frederick Taylor, foi responsável pela implementação do que é chamado atualmente de administração científica. A esta racionalização da produção deu-se o nome de Taylorismo. O principal pilar deste método tem relação com o fato de que o planejamento fabril deveria ser realizado por administradores e engenheiros profissionais e não por operários. Os estudos definidos por Taylor apontam a necessidade de descobrir a forma “ótima” de operação de uma linha produtiva. Esta tarefa é facultada ao planejador, definindo detalhadamente o método de produção, avaliando constantemente este método e eliminando o que não agrega valor à linha produtiva (TAYLOR, 1995).

O estudo de tempo dos processos também faz parte do processo de análise científica da produção. Com o método definido, passa a ser possível a determinação de tempos de uma tarefa que estejam próximos do ideal, e a soma de todos os tempos dos processos que compõem uma linha produtiva permite que se identifiquem os gargalos de produção e o consequente aprimoramento dos processos anteriores, reduzindo custos de operação e balanceando cada vez mais a linha de produção. Taylor (1995) ainda apresenta que os operários devem trabalhar em locais onde o treinamento seja rápido, e que por repetição consiga altos valores de produtividade. Desta forma, o operador passa a ser especialista em uma função.

De acordo com Batalha (2008), Taylor possuía uma enorme preocupação com a eficiência e se preocupava enormemente com os desperdícios de recursos e tempo. Para avaliar este cenário e tomar ações para agregar valor, precisou de um método e um equipamento, o cronômetro. O método consistia em identificar uma atividade de produção, seu início, final e atividades constituintes, revisando-as e remontando-as de forma que o tempo total para sua execução fosse minimizado.

Posteriormente, Henry Ford, utilizando-se das técnicas de administração científica da produção iniciada por Taylor, construiu e organizou a planta de River Rouge em Detroit, e produziu por 15 anos o modelo Ford T, com um diferencial competitivo de alta produtividade e baixo preço em relação a outras fábricas de automóveis existentes nos Estados Unidos. Além disso, aprimorou e evoluiu alguns conceitos de Taylor: intercambialidade - utilização de peças padronizadas e intercambiáveis entre produtos; e a linha de montagem - cada estação de trabalho era responsável por realizar uma etapa de construção do produto até a sua montagem final e expedição (WILLIAMSON, 2014).

Em linhas gerais, o formato como Henry Ford realizou a organização do trabalho não é muito diferente do que Taylor propôs, a não ser por alguns detalhes adicionais. Contador (2010) menciona que o grau de especialização do operador e a implementação de postos de produção reduz o contato entre operadores, padroniza a eficiência individual e estabelece-se um ritmo constante, sem a interferência dos operadores (FLEURY e CAUCHICK MIGUEL, 2012).

É importante contextualizar a implementação destes conceitos por Taylor e Ford de acordo com as características de demanda e consumo mundiais naquela época. Os projetos concebidos objetivavam a produção por longos períodos, onde a possibilidade de alteração ou adequação a necessidades posteriores é nula. Esta característica possibilitava a definição correta das atribuições de cada operador, reduzindo variabilidades durante a operação.

Outra característica que deve ser levada em consideração para a indústria do início do século XX é o fato da diversidade do produto ser bastante reduzida. Máquinas especializadas realizavam atividades bastante específicas, somando-se ao fato dos produtos serem simples e rústicos. Desta forma a qualidade não era um foco deste método de trabalho.

Por fim, o baixo nível de exigência do mercado consumidor vigente na época, que nunca foi alvo de consumo das indústrias existentes no período pré-taylorista, ocasionou uma explosão de consumo. Desta forma, era possível produzir altos volumes, com uma margem

bastante reduzida de lucro em cada produto vendido, porém, se tornando rentável devido ao grande mercado consumidor atingido, conforme Batalha (2008).

Após a Segunda Guerra Mundial, com o estabelecimento de uma nova Ordem Mundial, e os Estados Unidos detendo o título de maior potência, especialistas em administração da produção concluíram que os estudos realizados no início do século eram realmente definitivos. Portanto, o foco corporativo na década de 1960 tornou-se voltado à área de *marketing* e serviços, deixando a administração industrial em segundo plano (MOREIRA, 2013). Neste período, também surgiram novos pensamentos em relação à administração científica da produção, estabelecidos pelos Japoneses, durante a fase de reconstrução pós-guerra. É importante ressaltar que, a administração de produção volta a assumir um papel de referência no mundo corporativo, especialmente devido ao declínio da produtividade industrial norte-americana.

De acordo com Rangel, Freitas e Do Rêgo (2012), um estudo realizado em 1950 na planta Mazda em Hiroshima, teve como objetivo a eliminação de gargalos causados pelos maquinários e aumentar sua capacidade produtiva. Shigeo Shingo, um engenheiro oriundo da Toyota, durante este estudo, observou que a limitação do seu uso era definida por uma operação de *setup* e não uma por operação produtiva. A partir disso, começou a desenvolver uma metodologia analítica que objetivava racionalizar o método utilizado para a realização dos *setups*, sendo concluída em 1969 (BARNES, 1990).

Após a II Guerra Mundial, o Japão começou a se desenvolver novamente e nos anos 1970, surgiram técnicas que vieram a somar aos métodos já consolidados por Taylor e Ford. Uma destas técnicas é o *Just-In-Time* (JIT). A implementação desta filosofia objetivava atingir a máxima coordenação entre a produção e a demanda, evitando desperdícios, atrasos e estoques excessivos. É considerado muito mais do que uma técnica e sim uma filosofia que envolve administração de materiais, arranjo físico, projeto do produto, gestão de qualidade, organização do trabalho e gestão de recursos humanos (McMANN e NANNI, 1995).

O JIT, por consequência, apresentou uma série de outros fundamentos que até os dias atuais são referência na administração de produção. Um destes fundamentos é a minimização de estoques, onde o estoque de matéria prima passa ser o fornecedor, evitando custos no armazenamento de materiais pela companhia. A produção enxuta e eliminação de desperdícios também fazem parte desta filosofia de produção. Tudo isto somado se reflete na manufatura de fluxo contínuo ou balanceada. O enfoque em solução rápida e eficaz na

resolução de problemas com os Círculos da qualidade também são conceitos implementados pela indústria japonesa (SELLÉS, 2014).

Avaliando a história da inovação em Japão, Coréia e Brasil várias inferências podem ser feitas (FLEURY e FLEURY, 1995). Os Japoneses perceberam que os operadores devem planejar o seu trabalho, e os gestores devem ter a experiência que a prática proporciona, equilibrando os conhecimentos, entre gestão-operação e operação-gestão. Desta forma, o detalhamento e a padronização do trabalho passam a ser realizados de uma forma democrática e participativa, fazendo com que todos os funcionários, gestores e operadores trabalhem juntos para a eficiência da produção, produzindo uma antagônia em relação ao princípio taylorista operador-planejador.

Esta mudança na forma de gerenciar a produção ocorreu devido à alteração mercadológica desde os anos 1920. A indústria de produção de itens seriados, que antes competia com as fábricas artesanais, passa a competir com indústrias que fazem uso do mesmo sistema produtivo. Esta condição faz com que as empresas invistam em tecnologia, criando vantagem competitiva umas sobre as outras. Este fato reduz o ciclo de vida dos produtos, alterando constantemente os equipamentos utilizados e as linhas de produção.

Neste período, houve uma percepção dos gestores fabris de que alguns segmentos alternativos de mercado poderiam ser atingidos ao invés de atuar nos grandes nichos, ou até mesmo cobrir todos os segmentos de mercado detectados, produzindo mais riqueza. Desta forma, foi estabelecida uma variedade muito maior de produtos, tornando as indústrias mais flexíveis. A globalização, que permite obter facilmente matérias primas e produtos acabados do mundo inteiro, aumenta a competitividade das empresas. A eficiência durante a produção e a redução de custos dos sistemas de produção têm grandes reflexos nos preços, tornando-os ainda menores. Além disso, o atendimento à necessidade dos clientes em relação ao prazo de entrega e a qualidade dos produtos se tornou diferencial importante. Assim, a ampla concorrência existente entre as empresas faz com que o consumidor leve outros detalhes em consideração ao decidir qual produto adquirir.

Para combater a forte concorrência asiática, a flexibilidade e a diversificação de produtos, além da redução de prazos de entrega, tem sido uma saída bastante utilizada pelas empresas para criação de vantagem competitiva. O maquinário utilizado, que era antes focado em um tipo de negócio ou produto, teve que ser adequado a novo momento.

Porém, uma linha de produção flexível, de baixo custo, e que atenda uma gama variada de produtos requer um planejamento bastante cuidadoso, de forma a utilizar o máximo dos recursos (equipamentos, mão de obra, matéria prima) a um baixo custo operacional. Um dos maiores desafios dos gestores de produção nos dias atuais é encontrar o equilíbrio entre estes fatores, de forma que o custo operacional seja mínimo, sem afetar a qualidade e o prazo de produção dos lotes. A administração científica da produção se torna cada vez mais necessária para que estes três parâmetros sejam equalizados.

Desta forma, Barnes (1990), utilizando-se dos conceitos de Taylor, define o estudo de métodos e tempos como um estudo sistemático dos sistemas de trabalho com o objetivo de tornar uma determinada operação eficiente e padronizada. Este estudo é dado por meio do desenvolvimento e padronização de um método melhorado de realizar a operação, determinação do tempo gasto para realizá-la e orientação ao treinamento do trabalhador no método desenvolvido. Este estudo objetiva racionalizar o método de trabalho, de maneira que, ele ocorra com o uso mais eficiente de recursos produtivos, notadamente, o uso da mão-de-obra e conseqüentemente o gerenciamento mais eficiente da operação. De acordo com Cox III e Spencer (2002), um ponto de partida para atingir este objetivo é o uso balanceado dos recursos disponíveis, determinando o gargalo (restrição) baseado na capacidade e o gargalo (restrição) baseado no tipo de produto.

Neste contexto, inicia-se a tratativa sobre balanceamento de linha, que é o equacionamento eficiente para associar operações a estações de trabalho em uma linha de produção, de tal forma que ela seja ótima em relação a algum parâmetro restritivo. A implantação do balanceamento de linha é um problema de otimização complexo. Isto porque, dado um conjunto de tarefas cujos tempos são diferentes, um grupo de restrições de precedência entre as tarefas, um conjunto de estações de trabalho, deve associar-se cada tarefa para exatamente uma estação de trabalho de tal forma que nenhuma restrição seja violada e a associação seja otimizada (BECKER e SCHOLL, 2006). Importante observar que, Goldratt e Cox (2014) definem restrição como qualquer coisa que limite um sistema de atingir uma performance superior em relação à sua meta. Assim, o desempenho do sistema como um todo, é determinado pelas restrições.

Quanto à forma para o balanceamento, Goldratt e Cox (2014) apresentam cinco etapas para gerenciar as restrições. A primeira consiste em identificá-las. Em seguida, avaliar como explorar estas restrições e otimizar o seu uso. Deste ponto em diante a operação deve ser gerenciada mediante a otimização do gargalo otimizado. O próximo passo é concentrar

esforços de forma a aumentar a capacidade de geração de saída da restrição. Por fim, não deixar que a inércia tome conta do sistema, de forma que seja reavaliado porque a restrição agora pode ser outro recurso.

Há duas variáveis no critério de otimização, ainda segundo Becker e Scholl (2006): o tempo de ciclo e o número de estações de trabalho. O tempo de ciclo não pode exceder a soma das durações de todas as tarefas associadas a qualquer estação de trabalho além de exigir a minimização do número de estações de trabalho. O número de estações de trabalho é fixo e o tempo de ciclo da linha deve ser igual ao maior valor da soma das durações das tarefas associadas a uma estação de trabalho e deve ser minimizado.

De acordo com Falkenauer (2005), a grande maioria dos balanceamentos envolve linhas já existentes, ou seja, estas linhas devem ser re-balanceadas. Esta necessidade cresce a partir de mudanças no produto ou o *mix* de modelos montados em linha, tecnologia de montagem, a força de trabalho disponível ou as metas de produção.

Além disso, cada estação de trabalho tem sua característica e, portanto, não são idênticas. Cada uma delas, mesmo sendo utilizada para a mesma função, possui capacidades técnicas e de produção distintas, depende de fornecimentos diferenciados das utilidades fabris (água para resfriamento ou ar comprimido, por exemplo), dimensões de produto possíveis de serem processadas etc. Estas restrições devem ser levadas em consideração durante o processo de balanceamento de linha.

Os impactos quanto à força de trabalho no balanceamento de linha também devem ser levados em consideração. O balanceamento é feito considerando toda a linha de produção quando se tem um operador por posto de trabalho. Neste caso pode-se considerar também que os operadores são fixos ao posto de trabalho ou existe rotação de trabalho. Existem também as linhas operadas por equipes de trabalho e a linha é particionada em sublinhas com certo número de estações de trabalho. Neste caso, a tarefa deve ser previamente atribuída a uma sublinha ou até mesmo algumas tarefas serem pré-atribuídas a uma sublinha (MACCARTHY e FERNANDES, 2000). Essas duas condições podem ser aplicadas à indústria de circuitos impressos estudada neste trabalho e que será apresentada adiante.

1.2 Tipos de sistemas produtivos

De acordo com Mohamed e Khan (2012), a operação de manufatura é quase sempre

levada em processos sequenciais de uma operação para outra com cada processo levando material mais perto ao produto final. Há dois tipos básicos de processos de manufatura: operações de processamento e operações de montagem (GROOVER, 2007). Operações de processamento transformam um material de um nível de processo em outro, superior e mais próximo ao produto final projetado. O processo continua até que o produto final seja completado. Por outro lado, uma operação de montagem integra duas ou mais partes ou componentes para se tornar um novo produto que é conhecido como um produto montado ou submontagem. Além disso, segundo Lima et al. (2011) os sistemas produtivos podem ser classificados como empurrados ou puxados. No primeiro tipo, o conceito é que a produção deve ser a máxima possível para que se possa maximizar a utilização dos recursos produtivos e então, melhorar o desempenho da operação, sem levar em consideração a capacidade de absorção do processo posterior. O segundo tipo consiste em que apenas o necessário para absorção do processo seguinte seja produzido e produção além deste nível é considerada perda.

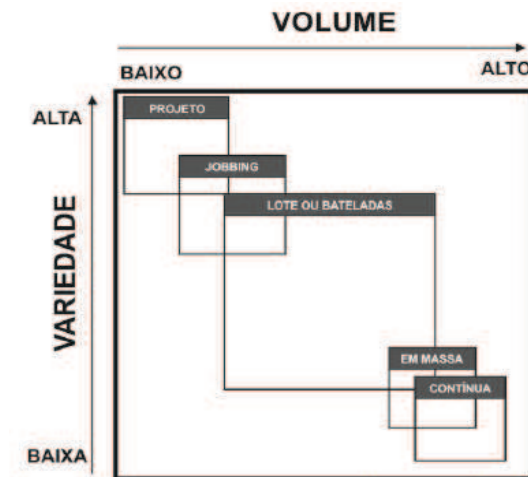
Araújo e Rentes (2010, p.4) resumiram bem essa dicotomia entre os processos produtivos. De acordo com os autores para:

Hopp e Spearman (2000) a maioria dos sistemas no mundo são atualmente híbridos ou misturas da lógica puxada e empurrada. Também para Fernandes e Godinho Filho (2007), os sistemas de coordenação de ordens recentemente criados são híbridos. Na definição de Fernandes e Godinho Filho (2007, p. 339), os sistemas híbridos são aqueles “onde há simultaneamente alguma regra de controle com base no nível de estoque, usada em pelo menos um estágio produtivo e, pelo menos um estágio produtivo é programado pelo departamento de PCP”. É como exemplifica Bonney et al. (1999), que para o TPS², sistema classicamente puxado, é utilizado o fluxo de informação empurrado para a produção de veículos e fluxo de informação puxada baseada em *kanbans* para linhas de montagem. Scarpelli (2006) considera que em um sistema híbrido, as ordens são emitidas tanto para satisfazer níveis pré-estabelecidos de estoque, quanto para pedidos específicos de clientes.

É possível também categorizar o sistema produtivo de acordo com as características do produto em manufatura. De acordo com Slack, Johnston e Chambers (2002), o processo produtivo pode ser classificado como projeto, *jobbing*, lotes ou bateladas, massa e contínuo. Isto se dá conforme a variedade e ao volume de produção, conforme apresentado no diagrama da Figura 1.

² Sistema de Produção Toyota (nota do autor)

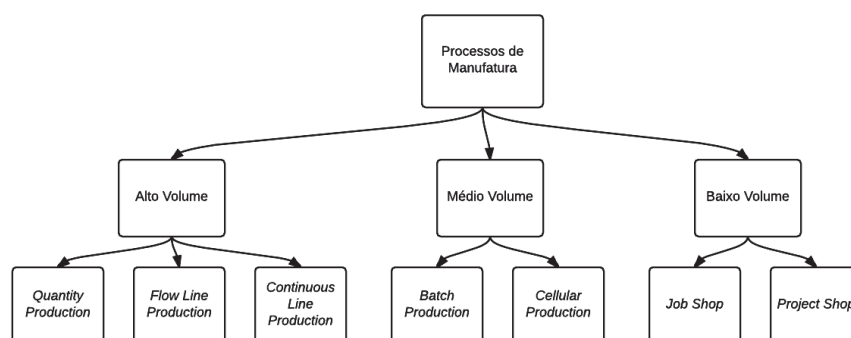
Figura 1: Características de processos produtivos



Fonte: Slack, Johnston e Chambers (2002)

A relação entre a classificação dos processos de manufatura relativos ao volume produzido (alto, médio e baixo volume), pode ser melhor compreendida observando-se a Figura 2. Esta decomposição mostra como cada subprocesso tem suas próprias características e depende da natureza do negócio da companhia. Dois processos extremos são linha de produção contínua (extremamente rápido) e Projeto (muito lento). Padrões de fluxo de processo se tornam menos complexos de acordo com os tipos celulares, linha e fluxo contínuo, em comparação com *jobbing* e projeto (MOHAMED e KHAN, 2012). Se o produto possui uma alta variedade e baixo volume, é bem provável que a produção funcional ou projeto seja característica desta linha produtiva.

Figura 2: Decomposição dos processos de manufatura



Fonte: (Mohamed e Khan, 2012)

A seguir são apresentadas algumas características e a avaliação das vantagens de cada tipo de processo:

Projeto: a operação classificada como projeto é aquela responsável por produzir

materiais discretos e sob encomenda pelo cliente, com um nível de customização alto. Baixo volume e alta variedade são características de processo categorizado como projeto (SLACK, 2002). Segundo Moreira (2013), uma característica marcante da operação por projetos é o seu alto custo e a dificuldade gerencial no planejamento e no controle.

Jobbing: o sistema *Jobbing* de produção é caracterizado pela produção de um ou poucos exemplares de um produto projetado e produzido apenas para atender à especificação de um cliente. O sistema *Jobbing* é utilizado por empresas de reparos gerais, produtores de ferramentas especiais, empresas de construção, lojas de roupas sob encomenda, fabricantes de navios, vasos de pressão e outros artigos produzidos sob encomenda. Este tipo de processo produtivo tem como característica um tempo desproporcional de ciclo de produção. Um pré-planejamento é necessário, porém, diversas ocorrências durante a produção podem afetar o fluxo de produção, por exemplo, falta de componentes, fluxo não balanceado, mudanças no projeto, erros no projeto detectados durante a produção, medição de trabalho imprecisa. A vantagem neste tipo de produção é que cada item pode ser alterado para um cliente específico, o que leva a benefícios para as companhias, em termos de valor agregado. Porém, dependendo se é baseado em baixa ou alta tecnologia, pode ser um processo caro se utilizar mão de obra especializada de forma intensa. Além disso, as limitações da produção *Jobbing* são o alto custo devido a frequentes ajustes iniciais (*setup*), alto nível de estoque e planejamento complexo.

Lote ou Batelada: O processo em batelada é aquele onde a produção tem início, meio e fim a intervalos regulares, ou seja, é uma atividade periódica. Possui como característica a versatilidade. Por exemplo, é possível utilizar um mesmo forno para diferentes produtos, alterando-se somente parâmetros como tempo e temperatura, caso necessário. Em virtude disto, a troca de produtos nos processos em batelada é mais fácil, e que sejam produzidos lotes de pequenos tamanhos de produção, ou seja, é mais viável que seja produzido pequenos lotes de produção de um ou mais itens. Maquinários para processos em batelada normalmente são pequenos e podem ser distribuídos em espaços menores. O custo de aquisição e instalação, em virtude do tamanho dos equipamentos utilizados nos processos em batelada, são mais baixos do que para os processos contínuos.

Em Massa: Neste caso a produção acontece em alto volume e baixa variedade. Segundo da revisão bibliográfica de Eidelwein et al. (2016), para a Engenharia de Produção, no que concerne a melhoria dos processos, o Sistema Toyota de Produção e a Teoria das Restrições se contrapõem à ótica de produção em massa, muito embora a integração desses conceitos é de interesse acadêmico. Isto porque os dois primeiros são alicerçados no

paradigma da melhoria de processos enquanto a última no paradigma de melhoria de operações. Para o autor, a produção em massa, pelo aspecto do método, foi inicialmente relacionada ao método científico por Shewhart (1891-1967) para, posteriormente, de acordo com o proposto por Deming, evoluir para “o atendimento das necessidades dos clientes”.

Contínuo: O que define um processo contínuo é a não necessidade de interrupção na atividade ao longo do tempo, a não ser por alguma anormalidade. Os processos contínuos situam-se além dos processos em massa. Nestes processos o equipamento só pode produzir o que está disponível na linha de produção. Para fabricação de outro produto é necessário que seja feita a troca na máquina formadora, e quando for o caso, ajuste de parâmetros, o que demanda um tempo de máquina parada. Além disso, os equipamentos utilizados nos processos contínuos são normalmente de média a grandes dimensões e são dispostos em sequência, o que demanda um espaço físico grande. Normalmente o equipamento contínuo tem capacidade para produção de grandes volumes por unidade de tempo.

1.3 A importância da TI na gestão de produção

As atividades que compreendem o planejamento e o controle da produção são críticas. Para que o planejamento possa levar a uma administração de produção adequada e resultados significativos, é necessário que determinadas ferramentas sejam bem projetadas e cuidadosamente implantadas. Um dos desafios que os gestores de produção necessitam enfrentar é a disponibilidade de recursos, afetado pelo desbalanceamento produtivo e esgotamento de capacidade. A variabilidade (interna e externa), que tem origem no atendimento aos requisitos dos clientes, também influencia no planejamento (ARAÚJO, 2009).

Esse planejamento, de modo geral, pode ser efetuado via software e, devido à complexidade de produção no setor eletroeletrônico, este também não pode prescindir de controles e otimização via software; assim, há longo tempo, neste setor o uso de ERPs (*Enterprise Resource Planning*) é amplamente difundido em toda a cadeia de suprimentos (QUEIROZ e SILVA, 2007). Como comentado anteriormente, dentro do setor eletroeletrônico, uma área muito relevante, porém bastante negligenciada, é a produção de placas de circuitos impressos (PCIs). Assim, para essa área, mesmo internacionalmente, o uso de softwares de gestão apresenta dificuldades bem peculiares. Ip, Chau e Yam (1999) sugerem o uso de softwares MRP (*Material Requirements Planning*), os precursores dos

atuais ERPs, integrado aos sistemas de qualidade para aumentar produtividade e desempenho; o que também permite diminuir consumo de matéria-prima e *lead time*. A proposta de adaptarem-se softwares de modo a obter uma melhor descrição do processo, então, adiciona outros indicadores, como entradas e saídas e obtendo-se estatística de processo (MARTINEK, 2004).

As especificidades da PCI em termos de produção que dificultam o uso de softwares ERPs, segundo Sviszt et al. (2005), são os indicadores de ordem técnica e/ou atributos, em grande número e de difícil padronização, por exemplo, material escolhido, acabamento superficial, mínima largura de traço/isolação, tamanho de filme, número de camadas, número de furos, requisitos especiais, e/ou uma lista de requisitos extra, e que não podem ser diretamente listados à ordem de produção. Choi et al. (2006) abordam tal questão por meio do *workflow*, o que poderia ser atraente para pequenas e médias empresas, ao criar um nível intermediário entre o ERP propriamente dito e o chão de fábrica. É importante enfatizar a utilidade desta ferramenta. Segundo Strauhs (2003, p. 165), *workflow* é uma ferramenta da qualidade cujo objetivo é “determinar o fluxo de um processo, mostrando as etapas corretas para concretização do mesmo e acompanhando constantemente todas as atividades que compõem o processo”. A HP® conseguiu resultados semelhantes em uma linha de PCI (CHEN et al., 2012) integrando seus vários sistemas ao ERP. Nessas linhas as principais dificuldades relatadas eram alta complexidade, pequenos lotes de produção, produtos customizados, curto ciclo de vida dos produtos, necessidade de transferência de *designs* entre plantas internacionais.

Como abordado anteriormente, a preocupação com a otimização da produção pelo uso de ferramentas “científicas” não é nova. Assim, há décadas questões como identificação dos gargalos de produção, redução de custos de operação e o balanceamento cada vez maior da linha de produção tornaram-se objetos de estudo (TAYLOR, 1995; BATALHA, 2008). Contudo, devido às altas taxas de inovação e de mudanças desse novo milênio, a competição se acirrou e as exigências tornaram-se mais rigorosas; as empresas, para se adaptarem, tiveram que estabelecer uma variedade maior de produtos, tornando as indústrias mais flexíveis, o que por sua vez demanda menor prazo de entrega em produtos com qualidade assegurada. Num cenário de flexibilização de produção e diversificação de produtos, além da redução de prazos de entrega, principalmente frente à forte concorrência asiática, o maquinário utilizado precisa ser adaptado para que, mesmo produzindo de modo flexível,

ainda garanta baixo custo. É neste contexto que se espera, com controles *in situ* e *on line*, otimizar o planejamento e o controle da produção por meio do uso de softwares.

Processos de manufatura são geralmente complexos e precisam ser sistematicamente organizados de forma a alcançar altos níveis de eficiência. Custos, datas de vencimentos de produtos, níveis de estoque, uma mudança, por menor que seja, podem impactar em todo o sistema (RODIC e KANDUC, 2015). Desta forma, segundo Nunes, Melo e Nigro (2009), o bom planejamento e uma programação eficiente são requisitos fundamentais para o aumento da competitividade de uma empresa e podem-se obter vantagens como a certeza nas datas de entrega e diminuição da ociosidade de recursos. O incremento da produtividade a partir do aumento da eficiência dos processos é fundamental para qualquer organização que queira sobreviver e sobrepor-se aos concorrentes, agregando valor aos clientes. Portanto, o Planejamento e Controle da Produção (PCP) corresponde ao conjunto de atividades e operações interligadas a todos os setores da produção de bens ou serviços, com o intuito de mudar o estado ou condição de algo dos recursos (*inbounds*) que influenciem na produção das saídas de resultados (*outbounds*) (GAITHER e FRAZIER, 2001).

Fernandes e Godinho Filho (2007) fazem uma divisão de PCP em Planejamento da produção (PP) e Controle da Produção (CP), o primeiro, relacionado a atividades de médio prazo, e o segundo, atividades em curto prazo. Porém, para este estudo, considera-se apenas a perspectiva de atividades em curto prazo, pois a empresa sob estudo possui características que fazem com que o trabalho em processo (*work in process* – WIP) seja dinâmico e mude a cada dia trabalhado. Neste caso, como definem Fernandes e Godinho Filho (2007), o controle em curto prazo consiste em regular o fluxo de materiais em um sistema de produção por meio de informações, regras de controle e/ou decisões para execução na forma de programação a ser implementada. O controle de produção compreende quatro atividades, a saber: programar a produção em termos de itens finais; programar ou organizar as necessidades em termos de materiais; controlar as emissões de ordens de produção e compra, além de programar/sequenciar as tarefas nas máquinas.

De acordo com Mesquita e Santoro (2004), a utilização de modelos analíticos de apoio à decisão nos processos de planejamento de produção era incipiente no começo deste século e o emprego de modelos clássicos de otimização é ainda pouco difundido. A mudança começa com o uso de softwares; deste modo, ocorre o advento do MRP (*Material Requirements Planning*), que auxiliava na execução da produção, tempos de resposta (*Lead Times*), e as quantidades em estoque, seguido pelo MRP II (*Manufacturing Resources Planning*) que

passou a considerar, além das necessidades de materiais, análises das restrições de capacidade da fábrica, e recursos financeiros da empresa, que evoluiu para ERP (*Enterprise Resources Planning*), integrando toda a base de dados da empresa, abrangendo contabilidade, vendas, produção, engenharia. Assim, a partir do modelo MRP, os problemas de dimensionamento de lotes, elaboração do programa mestre e sequenciamento da produção são os que oferecem maiores oportunidades para incorporação de técnicas de otimização. Porém, este sistema, ao interligar a empresa desde a área comercial, envolvendo áreas contábeis, recursos humanos e contas a pagar, por exemplo, até o chão de fábrica e estoques, pode levar à perda no enfoque relacionado ao gerenciamento da produção e fazer com que o processo de gerenciamento de produção esteja vinculado a muitos outros processos diferentes. Embora esta integração seja necessária, a quantidade de variáveis existentes em uma operação pode dificultar o uso de um determinado software.

Assim, encontram-se disponíveis no mercado *softwares* de apoio a decisão mais simples, chamados de APS (*Advanced Planning and Scheduling*), voltados para solução de problemas de otimização presentes no processo de gestão da produção. Cada empresa deve escolher o *software* para planejamento e controle de produção de acordo com as características da operação e MacCarthy e Fernandes (2000) mencionam que esta escolha depende de 12 variáveis do sistema de produção: nível de repetitividade, tamanho da empresa, tempo de resposta, nível de automação, estrutura de produto, nível de customização, número de produtos, tipos de layout, tipos de pulmões de estoque, tipos de fluxo, tipos de montagem e tipos de organização de trabalho.

1.4 Uso de software para controle de produção

Como abordado anteriormente, a implantação de um software de controle de produção visando à otimização não é incomum, e pode ser frequente na área de eletroeletrônico com o uso dos ERPs (QUEIROZ, 2007). Por outro lado, para PCI especificamente o uso de software é menos freqüente, muito embora tenha crescido fracamente nos últimos anos. Pesquisa por palavras chaves (descritores) utilizando o programa Google Acadêmico® indicou as respostas que foram apresentadas na Tabela 1. Foram desconsideradas as citações relativas à montagem (*Assembly e Mounting*) por não fazerem parte do escopo deste estudo. É possível observar que não só há pouca ou nenhuma informação sobre softwares para planejamento da produção

aplicados à área de PCIs como também há uma dicotomia entre a ampliação do ERP e o uso em PCI. Assim, a primeira tentativa de otimização pela empresa sob estudo ocorreu por meio do uso de um software para controle de produção mais simples que os ERPs normalmente usados em eletroeletrônicos, como por exemplo, o SAP®.

Tabela 1: Número de citações por ano por palavra chave

Palavras Chave	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Printed Circuit Board	3250	3500	4170	4520	4980	5280	5870	6320	6690	6860
PPC Software	647	897	906	1020	1160	1180	1230	1390	1430	1350
"Production planning and control" software	479	663	654	729	860	828	888	1030	1060	930
"Printed Circuit board" "Enterprise Resource Planning"	7	6	13	7	12	9	8	12	12	7
"Printed Circuit board" "Production Planning and Control"	4	6	9	7	3	6	10	6	9	7
"Printed Circuit board" "production planning and control" "Software"	2	4	8	5	2	4	7	5	8	6

Fonte: Google Scholar®

Como será comentado no item Resultados e Discussão, um programa comum em logística (Preactor®) foi usado para o gerenciamento da produção, pois, como a revisão de Boiko et al. (2010) aponta, este é utilizado para este fim em outras áreas produtivas, como o setor têxtil. O conceito deste programa é o de esgotamento de capacidade de processos, o que pode ser um inconveniente, pois não foca a otimização da produção pelo gerenciamento das variáveis

1.5 O Aspecto Sistêmico

A evolução da tecnologia também impacta no modelo de negócios, e por consequência o de fazer vendas, que cada vez mais são realizadas de forma virtual, por telefone e internet, acarretando em uma substituição gradual dos processos tradicionais por transações eletrônicas. Isto proporciona um mercado capaz de integrar toda a cadeia logística, desde a

indústria e distribuidores até o consumidor final, gerando uma nova comunidade, chamada de *e-business* (MATERA, 2012).

Este novo aspecto, contudo, causa significativas implicações nos processos produtivos e condiciona as empresas na adoção de novas estratégias. As empresas, antes isoladas e buscando negócios em um território limitado, agora têm a possibilidade de buscar um mercado situado em um território muito mais extenso. Assim, a formação de redes entre empresas passa a ser considerada uma prática atual e estratégica para a sobrevivência e competitividade, criando desta forma, uma nova arquitetura organizacional e inovando na formação de relacionamento entre as companhias (OLAVE e AMATO NETO, 2001).

Estas redes de colaboração entre companhias podem formar, de acordo com Nicolini (2011), o que é chamado de logística colaborativa, onde empresas que participam do processo de atender demandas de diferentes mercados logísticos formam uma cadeia colaborativa, reunindo pessoas com competências diversas, diferenciando o planejamento estratégico e favorecendo o ganha-ganha entre os produtores e os clientes, reduzindo a lacuna entre estes dois personagens principais da cadeia de suprimentos.

De acordo com Hashiba (2008), estudos de gerenciamento da cadeia de suprimentos enfatizam os benefícios das parcerias, relacionamentos efetivos entre fornecedores e clientes, cujo impacto leva ao melhor desempenho financeiro e lucratividade. É possível constatar estas relações entre indústrias que possuem processos similares, mas que estão distantes entre si no gerenciamento logístico. Desta forma, é possível que o exemplo abordado possa ser adaptado para a relação entre as indústrias de galvanoplastia convencional e a indústria de circuito impresso.

Um aspecto bastante importante na área de circuito impresso é a questão ambiental, devido à área de galvanoplastia. A galvanoplastia é o processo no qual certos materiais sofrem revestimento para adquirirem uma proteção contra as intempéries e manuseio, além de refinamento cosmético, durabilidade e melhoria das propriedades superficiais para satisfazer às necessidades e exigências do mercado. (MATTOS, 2011; COSTA, 1998). Estudos do uso de ERP para controle ambiental também já mostraram que a viabilidade econômica de um empreendimento nessa área também está intrinsecamente ligada ao tratamento desses efluentes galvânicos; esse tratamento, por vezes, corresponde a 30% do custo (QUEIROZ, 2007).

Os processos galvânicos de modo geral possuem pontos em comum no fornecimento de insumos, mas principalmente na geração de resíduos, tanto líquidos quanto sólidos. Os resíduos líquidos muitas vezes são tratados na própria empresa e depois liberados à rede de esgoto dentro de parâmetros especificados pelos órgãos ambientais. Porém, Balaton, Gonçalves e Ferrer (2002) mencionam que os resíduos sólidos galvânicos gerados após o tratamento do resíduo líquido pelas indústrias de galvanoplastia oferecem riscos ambientais e custos adicionais para empresas geradoras pela disposição em aterros.

Em geral, os resíduos da indústria galvânica são enquadrados de acordo com a legislação como resíduos perigosos, devido às suas propriedades físico-químicas ou infecto-contagiosas. Tais resíduos quando manuseados e gerenciados de forma indevida podem acarretar danos à sanidade ambiental e pública. As formas de poluição e contaminação da galvanoplastia podem ser muitas desde emissões gasosas, resíduos sólidos e efluentes líquidos, até a estação de tratamento de efluentes industriais na qual é gerado o lodo galvânico (SANTOS, DA COSTA e RAMOS, 2009).

As atividades de galvanoplastia convencional geram quantidades significativas de efluentes líquidos com elevada carga tóxica, constituída de vários metais (cobre, cromo, estanho, níquel, zinco dentre outros) e cianeto oriundos dos banhos de eletrodeposição. Estes processos galvânicos são aplicados em materiais para finalidade decorativa (Metais sanitários, por exemplo) e proteção para corrosão além de acabamentos superficiais em diversos segmentos, como automotivo, aeronáutico e naval. Cada área possui especificações e itens críticos de controle, que afetam as características de processo e seus resíduos gerados (SIMAS, 2007).

Desta forma, os aspectos produtivos e ambientais são importantes. Considerando que os processos galvânicos em PCI inserem-se na área de tratamento de superfície, é importante observar que, no quesito ambiental, Meneses e Assunção (2011) mencionam que no Estado de São Paulo, a região mais industrializada do Brasil, foram estabelecidos programas governamentais, priorizando setores industriais que, por meio de efetivo controle da poluição visam a melhoria contínua e crescente da qualidade das águas e do ar. As indústrias de tratamento de superfície, devido ao seu potencial poluidor, estão inseridas neste programa.

1.6 Processo produtivo de placas de circuito impresso

Placas de circuito impresso são produtos *make-to-order*, (FERNANDES-FLORES, SPEER e DAY, 2009), pois cada circuito possui características específicas de utilização e, acima de tudo, existe grande variedade de produtos bem diferentes e produzidos simultaneamente. PCIs são encontradas em todos os equipamentos eletroeletrônicos, em maior ou menor grau, e são fundamentais para o funcionamento destes equipamentos. Como a complexidade aumenta quanto maior é a tecnologia aplicada ao equipamento eletrônico, as PCIs têm tecnologias bem diferentes, tais como: Simples Face (circuito em apenas um lado da placa), Dupla Face (circuito nos dois lados da placa), Multicamadas (vários circuitos no interior da placa) ou flexíveis (Simples Face ou Dupla Face produzida em material flexível, ou duas placas rígidas conectadas por um circuito flexível). Na empresa onde a pesquisa foi realizada, contudo, apesar de produzir PCIs de placas simples face, dupla face e multilayer até 24 camadas, cerca de 90% da produção corresponde a PCIs simples, duplas e até 6 camadas, portanto, um breve resumo dos processos envolvidos nesse caso é apresentado a seguir.

A produção de placas de circuitos impressos é uma combinação de processos químicos, mecânicos e fotográficos, associados à programação realizada em estações CAM (*Computer Aided Manufacturer*).

É descrito, no Quadro 1, um processo produtivo típico de placas dupla face, que consiste em uma linha de produção contendo 23 processos dos tipos mecânico, químico, fotográfico, serigráfico, além dos processos de inspeção embalagem e engenharia. Trata-se de um fluxograma geral, que apresenta algumas especificidades que correspondem ao contexto da empresa pesquisada.

Quadro 1: Processos de fabricação de placas de circuito impresso Dupla Face

No	Tipo	Nome	Função Principal
0	-	Preparação da documentação	Engenharia.
1	M	Corte	Cortar a chapa bruta de laminado em painéis menores.
2	M	Montagem de Pacotes	Empilhar os painéis em pacotes dependentes do diâmetro do furo.
3	M	Furação	Realizar a furação da PCI, conforme arquivos eletrônicos.
4	Q	Metalização Direta	Preparação da parede do furo para o posterior processo de metalização dos furos.
5	F	Laminação	Aplicação de <i>Dry Film</i> na superfície dos painéis.
6	F	Exposição	Exposição das imagens do circuito nos painéis laminados com <i>Dry Film</i> .
7	F	Revelação	Remoção do <i>Dry Film</i> não polimerizado, deixando a imagem do circuito latente.
8	Q	Segunda Metalização	Deposição da camada de cobre no interior dos furos e na superfície do painel.
9	Q	Corrosão	Remoção do cobre dos locais que previamente foram protegidos pelo <i>Dry Film</i> .
10	I	CQ Pós-Corrosão	Avaliação visual dos painéis processados.
11	M	Preparação Superficial	Preparação da superfície do circuito para recebimento da tinta de máscara de solda.
12	F	Impressão da Máscara de Solda e Secagem	Impressão serigráfica da máscara de solda no painel de produção.
13	F	Exposição da Máscara de Solda	Exposição em luz UV da máscara de solda no painel de produção.
14	F/Q	Revelação da Máscara de Solda	Revelação da máscara removendo as áreas não polimerizadas pela luz UV.
15	F	Impressão Legenda Fotográfica e Secagem	Impressão serigráfica da simbologia no painel de produção.
16	F	Exposição da Legenda Fotográfica	Exposição em luz UV da simbologia no painel de produção.
17	F/Q	Revelação da Legenda Fotográfica e Cura Total das Tintas Impressas	Revelação da simbologia removendo as áreas não polimerizadas pela luz UV e cura total da máscara e da simbologia simultaneamente.
18	Q	Acabamento Superficial – HAL (<i>Hot Air Leveling</i>)	Aplicação de estanho nos <i>pads</i> em cobre que estão expostos pela máscara de solda, pela imersão do painel em um tanque de solda fundida e retirada sob a ação de facas de ar quente.
19	I	CQ pós-HAL	Avaliação da deposição da solda nos <i>pads</i> , levando em conta a aparência e planicidade.
20	M	Acabamento Mecânico	Definição do contorno da PCI de acordo com as especificações determinadas pelo projeto.
21	I	Teste Elétrico	Teste elétrico de todas as ligações da PCI, garantindo isolamento e continuidade.
22	I	Inspeção final	Avaliação de aspectos cosméticos, dimensionais e cumprimento de requisitos do cliente.
23	I	Embalagem	Embalagem do lote de acordo com procedimentos e requisitos estabelecidos.

Legenda: F – fotográficos; M – mecânicos; Q – químicos; I – Inspeção; F/Q – Fotográficos e Químicos.

Fonte: Coombs e Holden, (2016).

Para placas multicamadas, também usualmente chamadas de *Multilayers*, os processos são essencialmente os mesmos. Porém a produção de placas multicamadas inicia-se pelas camadas internas. Por exemplo, se uma PCI possui 4 camadas, o processo se inicia pela produção das duas camadas internas. Estas camadas consistem de um painel com imagem dos dois lados, mas que usualmente não possuem furos metalizados. Estes painéis são chamados de Internos ou “UT”, sigla para a nomenclatura “*Ultra Thin*”, devido à espessura destes painéis, usualmente menor do que uma placa Dupla Face convencional. Existem camadas internas que são furadas e metalizadas. Este tipo de furação é chamado de *Buried vias* ou vias enterradas, mas esta tecnologia não será abordada nesta pesquisa.

O laminado UT é cortado, e segue para a laminação e exposição do *Dry Film*, processo idêntico ao já mencionado e que é executado em placas Dupla Face. Em seguida é revelado e é submetido ao processo de ataque químico. O filme da superfície é retirado e então os painéis estarão com os circuitos internos definidos. No Quadro 2, são apresentados os processos adicionais para placas multicamadas:

Quadro 2: Processos adicionais para placas multicamadas

No	Tipo	Processo	Função Principal
1	M	Corte do Laminado UT	Cortar a chapa bruta de laminado em painéis menores.
2	M	Preparação da Superfície	Preparação da superfície do circuito para recebimento da tinta de máscara de solda.
3	M	Laminação de <i>Dry Film</i>	Aplicação de <i>Dry Film</i> na superfície dos painéis.
4	F	Exposição	Exposição das imagens do circuito nos painéis laminados com <i>Dry Film</i> .
5	F/Q	Revelação	Remoção do <i>Dry Film</i> não polimerizado, deixando a imagem do circuito latente.
6	Q	Ataque Químico e remoção do filme	Remoção do cobre dos locais que foram expostos pelo <i>Dry Film</i> , definindo eletricamente o circuito.
7	I	Inspeção Óptica Automática	Avaliação óptica dos painéis processados.
8	M	Registro dos Internos	Registro mecânico dos painéis para posterior alinhamento em <i>pin lamination</i>
9	Q	Promotor de Aderência	Deposição de cristais na superfície para promoção de aderência após a prensagem
10	M	Montagem do pacote	Empilhamento das camadas e registro por meio de pinos.
11	M	Prensagem	Prensagem do pacote em pressão e temperatura controlada.

Legenda: F – fotográficos; M – mecânicos; Q – químicos; I – Inspeção; F/Q – Químico e Fotográfico

Fonte: Coombs e Holden, (2016).

Em resumo, além da quantidade de processos produtivos, a produção de PCIs precisa considerar as variáveis existentes dentro de cada um desses processos. Pelo aspecto ambiental, os processos fotográficos e químicos são relevantes, não só pelo perigo de manipulação e necessidade de descarte, mas também pela perda de recursos. De acordo com Pinto (2012), por exemplo, o lodo galvânico – que corresponde ao resíduo sólido do tratamento da água utilizada nos processos de produção, não é apenas um material perigoso. Ele é um material de importância econômica, pois apresenta um potencial de exploração em alguns casos muito maior do que em jazidas, devido à concentração elevada de metais.

2 MÉTODO

O presente trabalho foi efetuado na Micropress Ltda³., empresa de fabricação de circuitos impressos e tem várias etapas, como descrito a seguir.

Trata-se de uma pesquisa tanto qualitativa quanto quantitativa, com caráter exploratório e experimental. O aspecto exploratório da questão decorre da necessidade de um planejamento flexível, envolvendo desde levantamento bibliográfico até entrevistas não estruturadas com os envolvidos no processo produtivo – e, eventualmente, mesmo especialistas da área (PRODANOV e FREITAS, 2013). Essa é a abordagem, por exemplo, adotada quando do estudo do uso de softwares no controle de processo. A abordagem experimental decorre da necessidade de obter dados reprodutíveis e parâmetros objetivos, como por exemplo, tempo dos processos, para garantir que as principais hipóteses levantadas sobre otimização da produção estão corretas.

Pelo conjunto apresentado acima, pode-se descrever este trabalho, portanto, como uma pesquisa ação (PRODANOV e FREITAS, 2013) – já que o pesquisador terá grande participação no objeto de estudo, ou seja, um viés de trabalho de campo e, dado às particularidades do setor de eletroeletrônicos, como descrito nos aspectos teóricos, vários aspectos serão simultaneamente abordados, a saber:

- Aspectos produtivos
- Aspectos ambientais
- Normas, processos e respectivas ferramentas de qualidade
- Proposta de modelo para otimização – Software ERP ? Balanceamento de linha? Etc.
- Teste desse modelo em condições controladas.

Como o objeto de estudo é uma única empresa (ou seja, o objeto pode ser bem caracterizado), e o estudo de caso pode ser utilizado em pesquisas exploratórias (PRODANOV e FREITAS, 2013), várias etapas propostas por Yin (2015) para estudo de caso único podem ser adaptadas com o objetivo de cumprir as etapas supracitadas.

Segundo Yin (2015), o estudo de caso é um modelo de investigação que propõe esclarecer uma situação que corresponde proporcionalmente à realidade na qual está inserido o contexto da pesquisa. O estudo de caso tem a característica de estudar o fenômeno em seu

³ Ver a autorização para proceder ao estudo no Anexo A

ambiente natural. Os dados podem ser coletados de diversas formas e podem ser examinadas diversas entidades como: organização, grupos, pessoas ou setores. Além disso, cada objeto de estudo é estudado detalhadamente. A pesquisa é dirigida a estágios de exploração, classificação e desenvolvimento de hipóteses de processos na construção do conhecimento. Não são utilizados controles experimentais ou manipulações; O pesquisador não precisa especificar previamente um conjunto de variáveis dependentes e independentes; A pesquisa inclui a resposta de questões do tipo “como” e “por que”; O pesquisador trabalha com eventos contemporâneos.

Ainda de acordo com Yin (2015), as etapas do estudo de caso são: preparação do estudo, seleção do caso e preparação dos dados, condução e, por fim, finalização.

A preparação do estudo encerra uma etapa do planejamento, fundamentado em levantamento da base teórica. Esta etapa pode ser considerada como efetuada pela apresentação dos aspectos teóricos. A seleção do caso e preparação dos dados consiste na escolha dos dados cujo estudo apresente maior interesse e que possuam o maior nível de detalhamento, dentro das necessidades. Um exemplo de como esta etapa foi aplicada neste trabalho está nas definições dos aspectos ambientais, que focaram principalmente em processos galvânicos, como será abordado no capítulo Resultados e Discussão.

O foco das investigações é estabelecido na condução do estudo. Nesta etapa, são enumeradas todas as variáveis com influência direta ou indireta sobre o caso e também são definidos os instrumentos utilizados na prática do estudo. No presente caso, foram usados principalmente:

- a) Entrevistas: questões que extraíam os dados buscados da melhor forma possível, nesse caso a entrevista é importante para estabelecer conhecimentos prévios presentes na empresa sob estudo, ou mesmo de especialistas da área.
- b) Observações: Necessita uma abordagem crítica e questionadora do pesquisador para extração do máximo possível em relação aos fatos observados. Assim, além de projeto de experimento com indicadores mensuráveis, como por exemplo, tempo de processamento, é necessário avaliar o que o comportamento destes indicadores está revelando.
- c) Documentação: documentos selecionados que podem ser utilizados para a análise. A informação referente ao processo produtivo já presente nos documentos da empresa

antes mesmo do início dos trabalhos corresponde a um histórico valioso para propor hipóteses fundamentais.

A finalização do estudo, que é a apresentação imparcial de todos os dados coletados, pressupõe que melhorias e mudanças serão propostas; no presente estudo, espera-se uma otimização do processo produtivo.

2.1 Avaliação quanto aos aspectos produtivos

Avaliação inicial da empresa, por meio de entrevista não estruturada com os envolvidos no processo produtivo: supervisores de área, gerentes e direção, no total de 5 pessoas, e análise de documentação permite situar em qual nicho de mercado a empresa atua e quais são as características da operação existente na companhia.

Esta etapa de trabalho está baseada nas medições de tempo de cada processo com base nos registros de produção. Todo o histórico de produção de um lote, incluindo os registros de horários de execução dos processos está documentado na Ordem de Produção, que acompanha o lote pela área fabril. Assim, coletam-se amostras de lotes produzidos, seus tempos de produção gerais e em cada processo. Essas coletas permitem compreender, para um conjunto de lotes produzidos em determinado período de tempo, as variáveis de maior importância para determinação destes tempos e, também, por análise crítica, verificar possíveis melhorias. O detalhamento de como foi realizada a extração dos dados, bem como sua apresentação, são expostos no item 3.3 - proposta de modelo para otimização.

2.2 Avaliação quanto aos aspectos ambientais

Os aspectos ambientais de uma operação são de fundamental importância pois, quando se trata de um processo produtivo planejado e otimizado, a tendência é que isto se reflita por toda a organização, e certamente, nas questões ambientais, como por exemplo, produção de resíduos. Então, a produção de resíduos gerenciada a partir de uma operação estruturada pode levar a redução de custos de tratamento, devido à estabilidade das emissões do sistema. Por

exemplo, com base em dados estruturados, pode ser possível uma parceria entre companhias para reduzir ainda os custos de tratamento.

2.3 Proposta de modelo para otimização

Esta proposta de modelo para otimização é baseada nas medições de tempo com base nos registros de produção. Os horários de execução dos processos são registrados pelos operadores responsáveis pela execução de cada processo no documento chamado “Ordem de Produção” ou “OP”. Estes registros são realizados a todo o momento. A proposta deste trabalho é coletar amostras de lotes produzidos, seus tempos de produção gerais e em cada processo. Estas coletas compreendem um conjunto de lotes produzidos em período de um dia, com o propósito de uniformizar as épocas de produção, evitando informações não significativas, por exemplo, por qualquer viés de produção, por ter havido uma redução na demanda ou épocas de mercado aquecido etc., o que pode levar a conclusões incorretas.

A definição deste período apresenta a fila de produção do dia e facilita a avaliação, no o modelo de otimização escolhido, dos aspectos relativos às restrições, por exemplo, aderentes à *lean manufacturing*, que possam ser evidenciados nesta extração de dados. Além disso, torna-se possível apresentar de forma gráfica o fluxo de produção deste período.

Após a implementação do modelo, amostras relativas aos tempos de produção, de modo semelhante, são extraídas das ordens de produção e são comparadas aos resultados das amostras retiradas antes da implementação e avaliado o resultado antes e depois da implementação da otimização da linha de produção.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho foi realizado utilizando ferramentas da qualidade, dentre elas, o ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) para a melhoria contínua. Assim, existiram duas etapas completas e seqüenciais do ciclo, onde primeiramente avaliou-se o uso de software para a otimização do processo e, em seguida, quando este se mostrou ineficiente – como descrito neste capítulo – uma etapa de produção mista, esta dividida em duas fases, onde inicialmente eliminam-se principais restrições e a seguir se aprimora o resultado. Assim, este trabalho ocupou cerca de 50 meses de pesquisa.

Por questões de otimização das necessidades industriais e do tempo de pesquisa, a aquisição dos dados foi efetuada simultaneamente, ou seja, avaliaram-se aspectos produtivos, ambientais e de modelamento enquanto processavam-se modificações em ciclos de melhoria contínua (PDCA). Os ciclos iniciaram-se com a avaliação prévia da empresa para a compreensão das principais características do empreendimento que podem influenciar os indicadores a serem obtidos, como por exemplo, mercado atendido (*marketshare*). Além disso, as seguintes etapas foram efetuadas para se determinar as operações críticas: a) compreensão do processo de produção e das características ambientais, b) determinação do fluxo de processo, em que se procura medir e compreender os principais fatores que influenciam o tempo de produção e, c) proposição de ações de melhoria, a partir de uma análise crítica dos resultados anteriormente obtidos e aplicação de ferramentas da qualidade. Desta forma, pode-se assumir que o conjunto de atividades aqui descrito assemelha-se a aplicação do PDCA a um processo produtivo.

3.1 Avaliação prévia da empresa

Para iniciar os trabalhos propostos nessa dissertação, uma avaliação prévia da empresa sob estudo foi efetuada. Assim, foi possível observar suas características e, principalmente, determinar suas especificidades.

A Micropress Ltda. é uma empresa considerada pelo mercado consumidor de circuitos impressos como detentora de alta tecnologia em processos produtivos e parque fabril atualizado, estabelecida desde 1986, com cerca de 1500m² de área construída e 50

funcionários. Possui foco em produção de lotes com volume muito restrito, que o mercado denomina protótipos, para atender ao mercado de desenvolvimento, bem como lotes de pequenos e médios volumes de placas de circuito impresso (PCI).

Com linha fabril flexível, é capaz de produzir placas Simples Face, Dupla Face e Multicamadas até 16 camadas, contendo furos enterrados (*Buried vias*) e furos cegos (*Blind vias*). Contudo, o estudo aqui descrito compreenderá as placas Face Simples, Dupla Face e Multicamadas de até 4 camadas, pois isto corresponde, em geral, a mais de 95% da produção total. A capacidade de produção é de 10m²/dia, e a companhia almeja que este volume esteja pulverizado em mais de 20 modelos por dia. A Micropress é conhecida por produções rápidas, cujos prazos de entrega variam desde oito horas – quando a documentação do cliente é recebida até as 9h da manhã e a placa é produzida e disponibilizada para retirada às 17h do mesmo dia - até o prazo de quatro dias. O indicador de pontualidade monitorado pela Micropress aponta 95% de atendimento ao prazo de entrega, e o atraso, quando existe, é de um dia. A empresa pesquisada possui certificação ISO 9001:2008, é a única qualificada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e habilitada a produzir placas para os Programas Espaciais Brasileiros, de acordo com requisitos das Normas IPC A-600-H e IPC 6012D, Classe 3/A. A estrutura contempla ainda laboratório físico e químico para controle interno dos processos químicos e avaliação metalográfica das PCIs produzidas. Além disso, todos os produtos são *make-to-order*, ou seja, são produzidos sob encomenda dentro do perfil de desenvolvimento, em pequenos lotes e com características distintas entre si, portanto, não há possibilidade de produção de PCIs para estocagem. Todas as solicitações de produção passam pelo processo de planejamento de produção e impactam no balanceamento de linha de produção.

3.2 Compreensão do processo de produção

Nesta etapa, a linha de produção da empresa pesquisada sofreu auditoria de processo, ou seja, todos os processos presentes na linha foram levantados, listados e brevemente descritos, de acordo com os Quadros 1 e 2 que sumariam processos em PCI, para se identificar possíveis restrições no processo de produção. Como esperado, a produção de PCIs é uma combinação de processos químicos, mecânicos e fotográficos, serigráficos, além dos

processos de inspeção, embalagem e engenharia associados à programação realizada em estações CAM. A seguir, os processos correlacionados com as respectivas linhas de produção de PCIs, ou seja, simples, duplas ou multicamadas, são listados na ordem em que devem ser percorridos.

O processo de documentação consiste na extração de dados dos arquivos e desenhos enviados pelo cliente para produção do lote. Neste processo os requisitos do cliente e do modelo em questão são compilados e toda a programação de máquina CNC é realizada, bem como a geração dos fotolitos que serão usados nas etapas que utilizam processos fotográficos. Este processo é responsável por alinhar e disponibilizar todas as informações necessárias para que as etapas de processo tenham conhecimento dos requisitos de fabricação.

Em seguida a chapa de laminado cobreado é cortada em painéis menores, nas dimensões determinadas pela documentação. A PCI estará contida dentro destes painéis que serão submetidos a todas as etapas de processo. Na sequência, a furação do lote é realizada, com base no arquivo CNC gerado pela área de documentação. Cada lote possui uma quantidade e diâmetro de furos específica e estes dois parâmetros são fatores limitantes para equalizar a carga nos processos subsequentes. Quanto menor o diâmetro e maior a quantidade de furos, maior será o tempo de processo do lote. O *setup* deste processo é curto no caso de placas Simples e Dupla Face, mas aumentado em placas *multilayers*. Pode-se dizer que o processo de furação, dependendo dos tipos de lotes em processamento, é um gargalo e restrição da linha de produção.

O processo de metalização direta consiste em uma sequência de banhos químicos com a finalidade de preparar a superfície dos furos para recebimento do cobre no processo de metalização seguinte. Este conjunto de banhos possui tempo fixo. A única alteração em termos de tempo é a adição de um processo de preparação adicional em caso de Multicamadas. O processamento dos painéis é feito em gancheiras de forma manual. O controle dos tempos é realizado por sinais luminosos e sonoros e a troca é realizada pelo operador. Após o processo, os painéis são submetidos ao processo de polimento visando preparar a superfície para a laminação de *Dry Film*.

Os painéis recebem uma cobertura de filme fotossensível à Luz ultravioleta, em velocidade e temperatura controlada. Como a velocidade é sempre a mesma, o tempo de processo varia apenas de acordo com a dimensão do painel. Painéis maiores levam mais tempo para laminação do filme.

Com o filme laminado, a imagem do circuito é transferida ao painel laminado por meio da exposição do filme já previamente preparado pela área de documentação em máquinas expositoras. Neste processo o tempo de produção pode variar em virtude da depreciação das lâmpadas UV e do *setup*. Além disso, a preparação das imagens (alinhamento, avaliação da centralização dos filmes em relação aos furos) pode também levar a um tempo maior de liberação do lote para processamento, inclusive relacionado à complexidade do circuito. Fotografação de PCIs com alta densidade de pistas finas e furos devem ser monitoradas cuidadosamente.

Após a exposição dos painéis, a imagem exposta e latente no *Dry Film* laminado é revelada em máquinas por esteira, cujo produto revelador remove as áreas que não foram expostas, deixando o circuito definido na superfície. Este processo possui velocidade constante, já que o processo de revelação possui tempo definido para execução. Antes da liberação das PCIs após o processo, o operador avalia o resultado da revelação e da exposição. Da mesma forma que o processo de exposição, a liberação de lotes após a revelação se torna mais demorada quanto maior for a densidade do circuito. Uma vez que o lote é liberado, este é enviado para a área de metalização.

Similar ao processo de metalização direta, este processo consiste no cobreamento dos furos já previamente preparados para este fim. É uma sequência de banhos químicos, preparando a superfície e a parte interna dos furos para receber a metalização com cobre por via eletroquímica. Esta metalização é parte fundamental na confiabilidade da produção das placas de circuito impresso. Os parâmetros de corrente e tempo de produção variam de acordo com a imagem do circuito e com a espessura mínima de cobre nos furos, além dos requisitos normativos a serem respeitados em cada lote. Este processo, de forma similar à furação, também é uma restrição à linha de produção, dependendo dos tipos de lote a serem processados. Nesta etapa de processo, os painéis recebem uma camada de estanho que serve como proteção ao circuito metalizado para posterior ataque químico.

A sequência do processo consiste na remoção do *Dry Film* utilizado para definição do circuito em um processo contínuo em máquinas por esteira. Este processo possui velocidade constante pois o processo de remoção possui tempo definido para execução. Após a remoção do filme, os painéis seguem para o processo de ataque químico, processo também por esteira, onde todo o cobre que está desprotegido pelo depósito de estanho será removido. A velocidade do processo depende da camada de cobre na superfície. Quanto menor a espessura da camada, menor será o tempo de processo dos painéis. Este processo requer uma inspeção

em linha, pois, dependendo da densidade do circuito, ajustes de engenharia podem ser necessários para correta definição do traçado. Finalmente, o estanho da superfície do painel é removido, e então o circuito está funcionalmente pronto.

Todos os painéis são submetidos à inspeção pós-processo. Esta inspeção consiste em avaliar detalhadamente o resultado do processo, com o objetivo de detectar imperfeições e realizar remoções de curtos-circuitos que foram causados pelos processos anteriores. Serve também como monitoramento de processos pela engenharia com o objetivo de fornecer subsídios para ação corretiva e preventiva.

Os painéis do lote, aprovados pela inspeção, são levados ao polimento. Este processo, em geral consiste em processamento em máquina por esteira, com velocidade fixa, com a finalidade de preparar a superfície para receber a máscara de solda. Esta preparação interfere na aderência da máscara, então este processo é de fundamental importância para a qualidade da PCI.

O processo subsequente, é a impressão da máscara de solda por serigrafia. Este processo pode ser realizado por máquinas automáticas ou manualmente. No caso sob estudo, o processo é manual. Após a impressão da máscara, os painéis são levados à estufa para secagem da tinta em tempo e temperatura constantes. Após a secagem, os painéis são levados para exposição, de forma similar ao processo de exposição de *Dry Film*. A preparação das imagens (alinhamento e avaliação da centralização dos filmes em relação aos *pads* – áreas cujos componentes serão soldados durante a posterior montagem) não é tão complexa quanto a que ocorre no processo de exposição do circuito, porém, o posicionamento das máscaras é um fator crítico nesta etapa. O tempo de exposição é fixo, porém maior do que o tempo de exposição do *Dry Film*. Na sequência, os painéis são revelados em máquinas por esteira, com velocidade constante.

De semelhante modo, a aplicação da simbologia é executada. É uma repetição do processo anterior com a diferença que ao final, os painéis são submetidos a um processo de cura térmica. Toda a tinta aplicada está semi-curada e é necessário um processo térmico mais acentuado para que as características da tinta sejam alcançadas. Este processo possui tempo e temperatura fixa.

Após a cura final, os painéis são levados ao processo de aplicação de solda. A superfície de cobre exposta pela máscara é tratada quimicamente, em seguida recebe aplicação de fluxo para solda em toda a superfície e é submetida ao processo HAL (*Hot Air*

Leveling ou Nivelamento por ar quente). Este processo consiste na imersão do painel em um tanque de solda fundida e em seguida remoção sob a ação de facas de ar quente, que fazem o nivelamento da solda na superfície do painel. Em seguida o painel é lavado, em máquinas por esteira, para remoção dos resíduos de fluxo da superfície.

O processo seguinte é o de acabamento mecânico. Este processo pode incluir várias etapas, dependendo da solicitação do cliente ou da configuração especificada pela área de documentação. Neste processo os painéis podem ser:

- Vincados: são riscos realizados nos dois lados do painel, removendo parcialmente o material de forma que o painel fique mais frágil, e que as peças ligadas pelo vinco possam ser destacadas após a montagem SMD (*Surface Mounted Device*). Podem ser realizados em máquinas CNC ou manualmente; no caso sob estudo é realizado por máquinas CNC. O tempo de processo é totalmente dependente da quantidade de vincos e das dimensões do painel utilizado para produção.

- Fresados: é a definição da geometria do circuito de acordo com a solicitação do cliente. É realizado por máquinas CNC e possui tempo de processo totalmente dependente do desenho do painel, da menor fresa utilizada e da quantidade de furos que são projetados para serem executados nas etapas finais de processo.

- Chanfrados: Este processo ocorre majoritariamente quando a PCI individualizada possui conectores dourados. Consiste na realização de chanfros na região dos conectores dourados.

Estes três processos podem ocorrer simultaneamente no mesmo circuito, o que impacta grandemente no tempo de processo e de produção da PCI.

O teste elétrico é um dos processos finais e é onde todas as ligações do circuito são testadas de forma a garantir a continuidade entre os pontos, bem como a isolação de todas as redes, de acordo com os arquivos enviados para produção do lote. Quanto maior a densidade do circuito, mais tempo é necessário para o teste das PCIs. O tempo total de processo é totalmente dependente da característica do circuito.

A inspeção final tem a finalidade de checar dimensões, verificação de itens previamente descritos em procedimentos operacionais e conferir se os requisitos dos clientes, determinados pela documentação, foram atendidos tanto em relação à ordem de produção quanto aos desenhos enviados pelo cliente. Em seguida as PCIs são embaladas. Estes dois

processos possuem tempos variando de acordo com as dimensões da placa individualizada e de acordo com requisitos de inspeção e embalagem determinados pelo cliente.

No Quadro 3 está apresentado um resumo dessa avaliação prévia, restrições dos processos e quais são aplicáveis às tecnologias de PCI que a empresa atua. Por exemplo, placas Face Simples não são submetidas a todos os processos descritos no Quadro 3, pois os processos números 2 e 4 não são aplicáveis a essa tecnologia. Placas Dupla Face são submetidas a todos os processos descritos nessa ordem. As placas Multicamadas possuem processos que se repetem em quantidades proporcionais à quantidade de camadas. Isso porque o processo básico de placas com essa tecnologia requer a produção das camadas internas, cujo processo de produção é similar ao de uma placa Face Simples, mas com imagem nos dois lados.

Desta forma, pode-se dividir o processo produtivo de placas Multicamadas em produção das camadas externas (ou simplesmente externos) e camadas internas (ou apenas internos) que serão produzidas dependendo da quantidade de camadas. Os internos são submetidos aos processos 1, 11, 5, 6, 7, 9, 10 e 11. A ordem dos processos é levemente alterada para atendimento a requisitos do material. Após este processo, os internos são encaminhados à prensagem e, então, seguem o processo como placas Dupla Face. Alguns processos são alterados em tempo de ciclo e concentração química, devido a requisitos do material que precisam ser respeitados. Neste texto, qualquer menção a processos respeita a numeração apresentada no Quadro 3. Como grande volume de gráficos são gerados a partir da avaliação das restrições, para facilitar o esclarecimento, os nomes dos processos são repetidos durante a análise destes gráficos.

Quadro 3: Resumo da avaliação prévia dos aspectos produtivos da empresa (continua)

No	Tipo	Nome	Fator de Restrição	Aplicação
0	-	Preparação da documentação	Número de Camadas, Complexidade do arquivo Alinhamento dos requisitos do cliente	SF, DF, M
1	M	Corte	Volume de material a ser cortado por lote	SF, DF, M
2	M	Montagem de Pacotes	Volume do material a ser pinado por lote	SF, DF, M
3	M	Furação	Quantidade de furos por painel e menor furo	SF, DF, M
4	Q	Metalização Direta	Volume de material a ser processado Dimensões do painel de produção Característica da placa: <i>Multilayer</i> ou Dupla Face	DF, M
5	F	Laminação	Volume do material a ser laminado	SF, DF, M
6	F	Exposição	Volume do material a ser exposto Menor pista e relação furo e ilha	SF, DF, M
7	F/Q	Revelação	Volume do material a ser revelado Placas com pistas finas e relação furo x ilha reduzida requerem inspeção mais cuidadosa e, portanto, levam mais tempo.	SF, DF, M
8	Q	Segunda Metalização	Dimensões do painel de produção Espessura da camada desejada Densidade do circuito em questão.	DF, M
9	Q	Corrosão	Volume do material a ser processado Densidade do circuito pode requerer um processo mais cuidadoso e consequentemente lento.	SF, DF, M
10	I	CQ Pós-Corrosão	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
11	M	Preparação Superficial	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
12	F	Impressão da Máscara de Solda e Secagem	Volume do material a ser processado	SF, DF, M

Quadro 3 Resumo da avaliação prévia dos aspectos produtivos da empresa (cont.)

13	F	Exposição da Máscara de Solda	Tempo de exposição em relação a cor de máscara de solda Densidade do circuito pode levar a um processamento mais lento.	SF, DF, M
14	F/Q	Revelação da Máscara de Solda	Densidade do circuito pode levar a um processamento mais lento.	SF, DF, M
15	F	Impressão da Legenda e Secagem	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
16	F	Exposição da Legenda Fotográfica	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
17	F/Q	Revelação da Legenda Fotográfica e Cura Total das Tintas Impressas	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
18	Q	Acabamento Superficial – HAL (<i>Hot Air Leveling</i>)	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
19	I	CQ pós-HAL	Volume do material a ser processado	SF, DF, M
20	M	Acabamento Mecânico	Desenho mecânico da PCI com muitos recortes aumenta o tempo de processo.	SF, DF, M
21	I	Teste Elétrico	Quantidade de interconexões a serem testadas por lote.	SF, DF, M
22	I	Inspeção final	Quantidade de características do lote a serem avaliadas.	SF, DF, M
23	I	Embalagem	Volume do material a ser processado.	SF, DF, M

Legenda: SF – simples face; DF – dupla face; M – multicamadas F – fotográficos; M – mecânicos; Q – químicos; I – Inspeção

Fonte: Adaptado de Coombs and Holden (2016).

3.2.1 Considerações sobre as características da empresa

O fluxo diferenciado entre tecnologias de placas impõe um desafio para o sistema de gerenciamento de produção de placas de circuito impresso. Além disso, o *marketshare* mais evidente da companhia estudada é o prazo de entrega diferenciado, no mínimo 8 horas. A soma de todas estas características torna crítico o gerenciamento da operação. Desta forma, qualquer desperdício de tempo no balanceamento da linha produtiva ou falhas de gerenciamento podem levar a perdas tanto em custos quanto na satisfação do cliente, em caso de atraso na entrega do produto.

Não obstante, outro aspecto que deve ser levado em consideração tem relação com as características da PCI produzida. Com a evolução tecnológica e a miniaturização dos componentes, os projetos de placas de circuito impresso necessitam ser adaptados a esta redução de tamanho dos componentes, bem como da área disponível para disposição do circuito. Isso acarreta redução na largura das trilhas e no diâmetro dos furos e ampliação da quantidade de conexões elétricas (*nets*) existentes no circuito. Essas características impactam no tempo de determinados processos, aumentando ainda mais a complexidade existente na programação de produção de placas de circuito impresso.

3.3 Compreensão dos aspectos ambientais

Após a avaliação dos processos produtivos pelo aspecto das possíveis restrições que podem causar no fluxo produtivo, análise semelhante foi processada considerando o aspecto ambiental.

Como já observado por outros autores (ARBUCIAS, 2008; QUEIROZ, 2007; BREJÃO, 2012), aspectos ambientais significativos são encontrados na área de eletroeletrônicos, em especial PCI, pelo uso de água e processos galvânicos além do consumo de reagentes químicos cujo descarte merece atenção. Assim, as empresas necessitam manter uma estação de tratamento de efluentes (ETE) para receber a água residuária dos processos de produção e, eventualmente, também reagentes exauridos nesses processos.

O Quadro 4 apresenta somente os processos categorizados como “Químicos” e “Fotográficos e Químicos” apresentados inicialmente no Quadro 3 e que devem ser avaliados mais atentamente.

Quadro 4: Processos químicos e fotográficos

Tipo	Nome	Fator de Restrição
Q	Metalização Direta	Volume de material a ser processado Dimensões do painel de produção Característica da placa: Multilayer ou Dupla Face
Q	Segunda Metalização	Dimensões do painel de produção Espessura da camada desejada Densidade do circuito em questão.
Q	Corrosão	Volume do material a ser processado Densidade do circuito pode requerer um processo mais cuidadoso e conseqüentemente lento.
Q	Acabamento Superficial – HAL (Hot Air Leveling)	Volume do material a ser processado
F/Q	Revelação	Volume do material a ser revelado Placas com pistas finas e relação furo x ilha reduzida requerem inspeção mais cuidadosa e portanto levam mais tempo.
F/Q	Revelação da Máscara de Solda	Densidade do circuito pode levar a um processamento mais lento.
F/Q	Revelação da Legenda Fotográfica e Cura Total das Tintas Impressas	Volume do material a ser processado

Legenda: F – fotográficos; Q – químicos; F/Q – Fotográficos e Químicos

Fonte: Adaptado de Coombs and Holden (2016)

Os processos fotográficos são em sua essência químicos por envolver dissolução de compostos poliméricos alterados por raios laser ou ultravioleta, nos processos de fabricação de filmes (fotolitos e diazos), bem como a revelação de *Dry Film* e Máscara de solda em soluções de carbonato de sódio ou potássio. Os reagentes a serem descartados, contudo, são em baixo volume quando comparados aos processos galvânicos.

O resíduo gerado pelo processo de galvanoplastia de placas de circuito impresso é o mais danoso para o meio ambiente. Os processos de cobre químico - que ainda são muito usados na indústria de PCIs - contém formol, um composto orgânico dentro de uma linha galvânica, e que necessitam ser tratados de forma adicional em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) voltada para retirada de metais, aumentando o custo do tratamento.

Além disso, os processos de preparação da superfície, como os desengraxantes e desoxidantes, após a saturação definida pela engenharia de processos das empresas, possuem concentração de cobre variando de 6 g/L até 20 g/L. Estes banhos saturados, a base de ácido acético e persulfato também são fontes de metais no tratamento de efluentes.

O efluente gerado pelo processo de corrosão do cobre pode ter uma destinação mais amigável ao meio ambiente. Este efluente, bastante rico em amônia, é muito utilizado pela indústria de fertilizantes. As empresas recicladoras tratam o cobre em solução, que em alguns casos chega a 160 g/L, deixando a amônia em solução, e assim a indústria de fertilizantes pode usar este efluente como insumo. Este produto é renovado continuamente em linhas horizontais.

Resíduos como decapantes de estanho a base de ácido nítrico possuem tratamento diferenciado em comparação aos resíduos a base de cobre. Portanto necessitam de estações de tratamento apropriadas para eles. Desta forma, a entrada deste produto saturado na ETE, dependendo das dimensões e capacidade de tratamento da linha, pode fazer com que a velocidade de tratamento seja bastante reduzida, impedindo que a linha galvânica continue a enviar resíduos, interrompendo o tratamento.

É possível notar que, se o tratamento de efluentes não receber os resíduos de estanho mais concentrados, tem-se basicamente um efluente composto por cobre. Mas mesmo assim, ainda possui outros contaminantes e que não permitem que seja tratado como cobre puro, devendo ser beneficiado para depois ser utilizado como insumo.

O descarte deste lodo galvânico, advindo do tratamento de água residuária, também possui suas peculiaridades, como custo, volume e principalmente a logística adequada para transporte entre os geradores de resíduo e os processadores. De acordo com Mattos (2011), os processos para tratamento do lodo galvânico podem ser estocagem, aterramento, incineração, coprocessamento, plasma térmico, microencapsulamento e reciclagem.

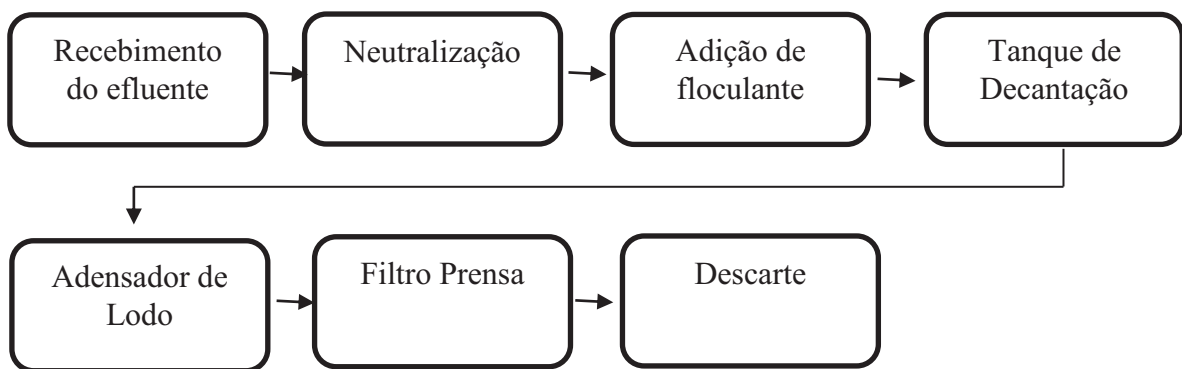
A estocagem consiste no armazenamento dos resíduos, que leva a um aumento do passivo ambiental da empresa. O aterramento, embora econômico, não resolve o problema de gerenciamento dos resíduos, já que o passivo ambiental gerado após o encapsulamento requer muito controle, principalmente no que tange ao lençol freático das áreas de aterro.

A incineração do lodo galvânico possibilita a redução do volume, mas não elimina a necessidade da destinação das cinzas, que devem ser armazenadas em aterros, pois são classificadas segundo a legislação brasileira como resíduos perigosos. Alternativamente a este

processo, há o coprocessamento, que é a destruição térmica dos resíduos em fornos de cimento.

O plasma térmico promove a destruição térmica dos resíduos através de um gás ionizado. As altas temperaturas volatilizam os orgânicos e fundem os metais, gerando uma matriz vítrea. Isto faz com que o resíduo seja inertizado e possa ser utilizado na indústria cerâmica ou siderúrgica. O fluxograma apresentado na descreve o ciclo básico de tratamento de efluentes galvânicos.

Figura 3 Ciclo básico de tratamento de efluentes



Fonte: Adaptado de Brejão (2012)

O Quadro 5 apresenta um resumo dessa avaliação prévia. De modo geral, o principal descarte, tanto pelo aspecto ambiental como econômico, é o lodo galvânico. Portanto, este resíduo será estudado mais atentamente.

Quadro 5: Resumo da avaliação prévia dos aspectos ambientais da empresa

No	Tipo	Nome	Aspecto ambiental/quantidade gerada	Tratamento utilizado
4	Q	Metalização Direta	Etapas do processo podem durar até 4 meses de uso.	Tratamento externo por bateladas
8	Q	Segunda Metalização	Etapas de limpeza são trocadas a cada 10 dias, gerando 600 L de material para tratamento	Tratamento externo por bateladas
9	Q	Corrosão	400 L de material saturado a cada 200 m ² de painéis processados. Quanto maior o volume, maior o rendimento.	Envio para reutilização da amônia.
18	Q	Acabamento Superficial – HAL (<i>Hot Air Leveling</i>)	Solda saturada, troca de metade do volume de solda da máquina quando a concentração de cobre estiver maior do que 0,3 %.	Envio para beneficiamento

Fonte: Próprio Autor

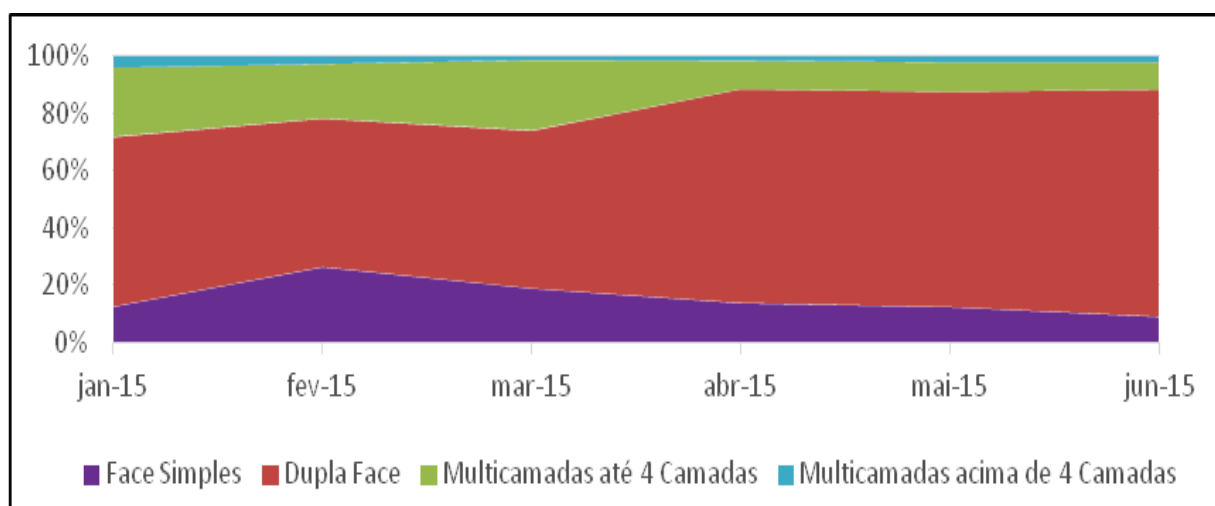
3.3.1 Considerações sobre os aspectos ambientais

De modo semelhante ao que ocorre com os processos físicos, onde, por exemplo, ao mesmo tempo em que um lote pode levar 15 minutos de furação, outro lote do mesmo volume pode levar 4 horas para ser processado, o *processo* galvânico de metalização eletrolítica pode levar 50 minutos de processo em alguns tipos de PCI enquanto em outros pode chegar a 2 horas, dependendo das especificações do circuito ou características normativas que requerem um processo diferenciado. Isto traz impactos no fluxo de processo, podendo levar a perdas (*waste*) de tempo por todo o sistema.

3.4 Determinação do fluxo de Produção

O Gráfico 1 apresenta a participação de cada tecnologia na produção total da empresa no período de um semestre; assim, é possível observar que a grande maioria dos lotes pertencem, como observado anteriormente, a face simples, dupla face e multicamadas até 4 camadas, portanto, melhoria produtiva nesses lotes impactará significativamente o conjunto da produção.

Para obter uma quantidade significativa de informação sobre o fluxo de produção que permita sugerir melhorias, foram obtidos os registros de produção dos lotes entregues durante uma semana, escolhida aleatoriamente. Esses registros apresentam os processos descritos anteriormente e o momento de término do lote. O horário de início de um processo é considerado o término do anterior. Assim, com esses dados pode-se avaliar a situação do planejamento de produção, independente da tecnologia de PCI produzida no momento, sua quantidade e complexidade. A semana avaliada possuiu um total de 30 lotes processados, o que correspondia a uma situação de média produção, de acordo com o responsável de O&M. Essa produção distribuiu-se pelos tipos de PCIs de modo semelhante à média (como apresentado no Gráfico 1), tendo-se, portanto, 3 lotes de Simples Face (10%), 22 lotes de Dupla Face (73%) e 5 lotes de Multicamadas até 4 camadas (17%).

Gráfico 1: Participação de cada tecnologia no total produzido

Fonte: Próprio autor – Baseado no histórico de produção registrado pela empresa. Período de 1 semestre.

É importante ressaltar que, neste processo, define-se cada modelo produzido como lote, independentemente da quantidade de placas de circuito impresso a serem produzidas. Assim, o volume do lote é de fundamental importância nesta compilação de fatores críticos. Quanto maior o lote, com características de maior complexidade presentes, maior será o tempo de processamento e impactará na fila existente no gerenciamento de produção. Os dados dos registros foram transferidos para uma planilha eletrônica e gráficos foram elaborados para que fosse possível uma análise visual da situação dos processos. Os Gráficos - Gráfico 2 e Gráfico 3 - apresentam um dos resultados obtidos, produzido a partir de um dos lotes extraído da amostra coletada, mais especificamente, o lote de número 3234910, o qual corresponde à produção de PCIs Dupla Face, que é o maior volume de produção nesse estudo. No Gráfico 2, o eixo das ordenadas corresponde ao tempo de duração do processo (horas e minutos) e o eixo das abscissas consiste no processo em questão, cuja numeração está referenciada no Quadro 6. O eixo das ordenadas do Gráfico 3 corresponde ao horário de execução do processo, e o eixo das abscissas consiste no processo em questão, de forma similar ao Gráfico 2.

Quadro 6: Processos e numeração para referência

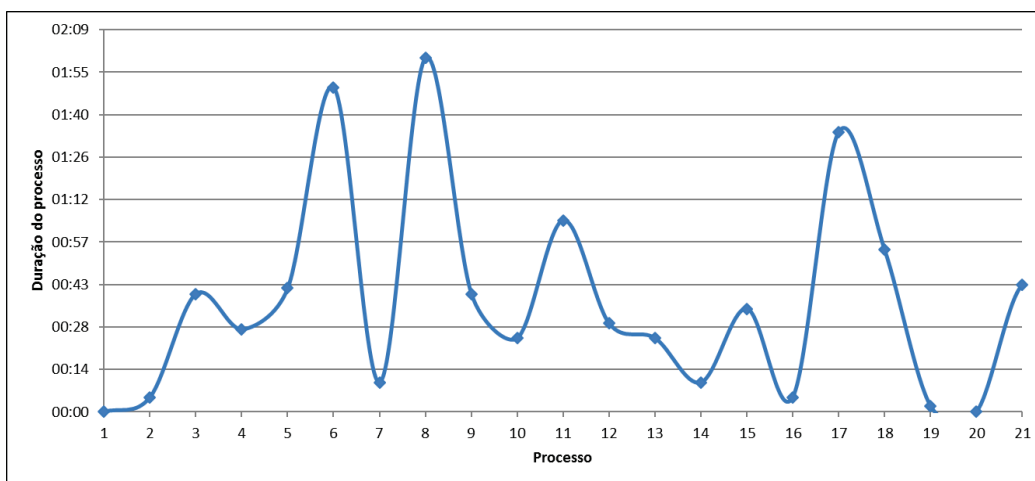
Numero	Processo
1	Metalização Direta
2	Laminação
3	Exposição
4	Revelação
5	Segunda Metalização
6	Corrosão
7	CQ Pós-Corrosão
8	Preparação Superficial
9	Impressão da Máscara de Solda e Secagem
10	Exposição da Máscara de Solda
11	Revelação da Máscara de Solda
12	Impressão da Legenda e Secagem
13	Exposição da Legenda Fotográfica
14	Revelação da Legenda Fotográfica e Cura Total das Tintas Impressas
15	Acabamento Superficial – HAL (<i>Hot Air Leveling</i>)
16	CQ pós-HAL
17	Vinco
18	Acabamento Mecânico
19	Teste Elétrico
20	Inspeção final
21	Embalagem

Fonte: Próprio Autor

No Gráfico 2, é possível identificar alguns processos que possuem tempos que se destacam em relação a todo o processo produtivo, por exemplo, os processos de Exposição de *Dry Film*, Segunda Metalização, Revelação e Cura Total da Tinta foram os que mostraram maior tempo de processamento. No Gráfico 3, é possível notar uma linha de tendência ascendente, correspondente a evolução do produto na linha de produção. O degrau existente na imagem corresponde a uma mudança de dia, ou seja, o produto iniciou em um dia e terminou no outro. A quantidade de degraus mostra quantos dias este lote permaneceu na operação até o seu término. Portanto, a ferramenta é útil para análise rápida do comportamento do sistema produtivo. Essa premissa foi atestada por consulta ao engenheiro de Organização e Métodos (O&M).

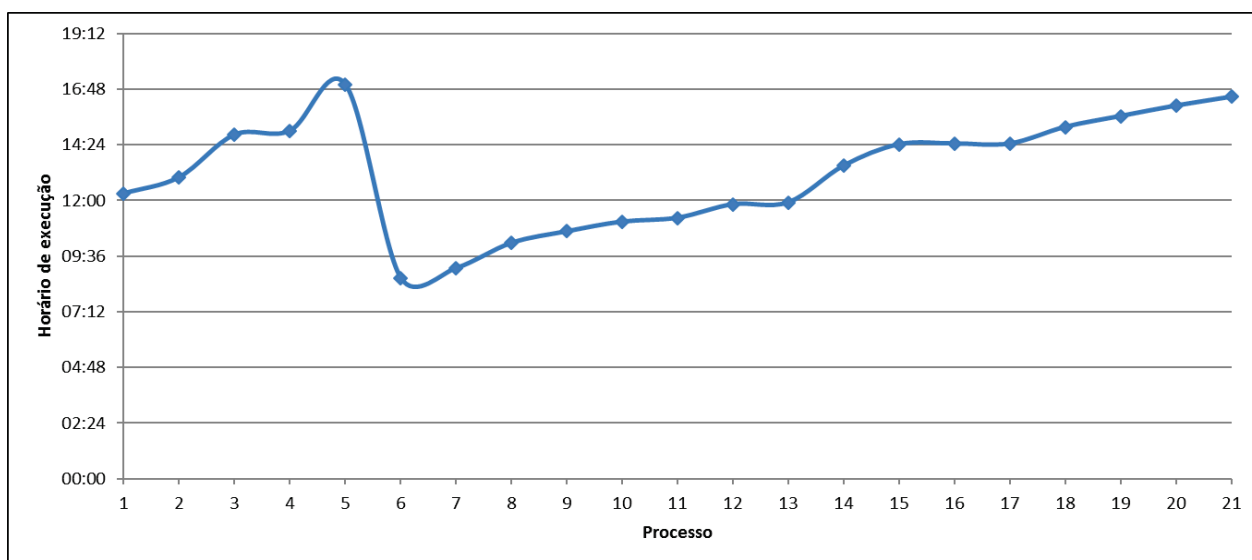
Para permitir comparação e também determinar tendências, os lotes de PCIs Dupla e Simples Face foram igualmente avaliados, em um único gráfico. Assim, essa etapa consistiu em uma superposição de gráficos relativos ao tempo de produção dos lotes de placas Dupla Face e Face Simples dentro da semana-amostra, cujo resultado é apresentado nos Gráfico 4 e Gráfico 5. Nos Gráfico 2 e Gráfico 5, é possível constatar alguns picos de tempo de processo maiores de 3 horas e 30 minutos, notadamente nos processos 3 (Furação), 8 (Segunda Metalização), 20 (Vinco), 21 (Acabamento Mecânico), 22 (Teste Elétrico), 23 (Inspeção Final) e 24 (Embalagem), para placas Dupla Face e Simples Face.

Gráfico 2: Duração dos processos (em horas e minutos) em função do número do processo para o lote 3234910



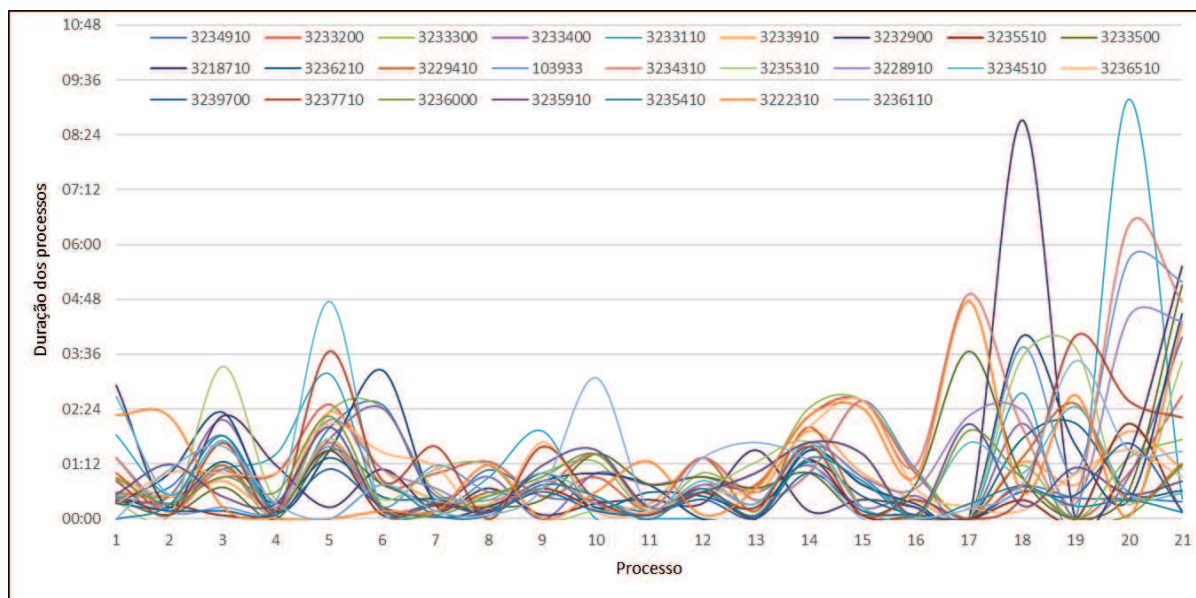
Fonte: Registro de produção do lote 3234910

Gráfico 3: Horário de execução dos processos em função do número do processo para o lote 3234910



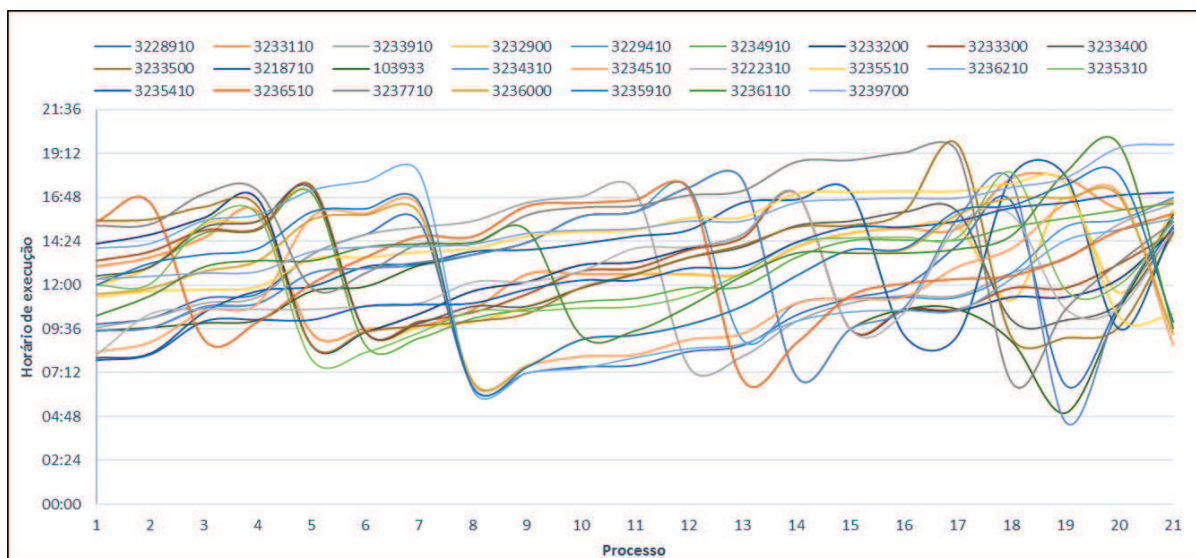
Fonte: Registro de produção do lote 3234910

Gráfico 4: Tempo dos processos (em horas e minutos) para 25 lotes de placas Dupla Face e Face Simples em função do processo, conforme numeração apresentada no **Quadro 6**



Fonte: Registros de produção dos lotes.

Gráfico 5: Horário de execução do processo para 25 lotes de placas Dupla Face e Face Simples em função do processo, conforme numeração apresentada no Quadro 6.



Fonte: Registros de produção dos lotes

Após essa construção preliminar da listagem do fluxo de processo, em conjunto com o engenheiro de O&M foi feita uma análise crítica (PDCA) para determinar o porquê de algumas etapas serem limitantes da velocidade (restrição). Pelo gráfico 4, é possível constatar que os processos de furação, segunda metalização, vinco, acabamento mecânico e teste elétrico são os que impactam diretamente no processo de produção de PCIs.

O processo de furação depende de três fatores: quantidade de painéis, menor diâmetro de furo e quantidade de furos no painel. Esses fatores impactam fortemente o fluxo de produção do processo e não é incomum que apenas um painel leve uma hora para furação. Algumas estratégias foram estabelecidas para evitar que tanto o processo de furação bem como a documentação, que são restrições importantes do fluxo produtivo, tenha seus impactos reduzidos em todo o sistema.

Devido a esta característica de difícil previsão dos processos de documentação e furação, houve a necessidade de se reduzir o impacto destes dois processos na linha de produção, já que, se a execução fosse em linha com o fluxo estudado, poderiam se tornar uma restrição que impactaria no fluxo de todo o processo. A saída encontrada para evitar este impacto é a realização destes processos em um momento diferente do restante das etapas. Desta forma, documentação e furação são realizadas em um turno adicional, que acontece antes do início do processo de primeira metalização. A vantagem é que, antes do início do fluxo de produção a ser executado, é possível determinar qual o volume a ser processado e as prioridades de acordo com data de entrega, por exemplo.

De acordo com o Gráfico 4, a Segunda Metalização, em um processo ideal, teria duração fixa, pois é um processo de deposição de cobre via eletrolítica. Porém, dependendo do perfil do circuito – pistas finas (menores que 6 mil) e furos com diâmetro reduzido (menores que 0,3 mm) – é exigida a redução da densidade de corrente aplicada, sob pena de excesso de metalização nas pistas finas, causando curtos-circuitos no processo de corrosão, além de excesso de metalização na borda dos furos com diâmetro reduzido, fazendo com que os furos tenham baixa camada de cobre em seu interior.

O vinco é um processo em que dois discos fazem um desbaste simultâneo na superfície do painel de produção, que passa por toda sua extensão. Os vincos podem ocorrer nas duas direções do painel, em X e em Y. Para cada modelo, a quantidade de vincos é variável, pois é dependente de especificações do cliente. Quanto mais vincos no painel de produção, maior o tempo de processo.

De forma similar ao vinco, o Acabamento Mecânico é totalmente dependente das especificações do cliente. A quantidade de furos não metalizados, diâmetro de fresas, bem como a metragem linear do fresamento são fatores que devem ser considerados para definir o tempo de processo de cada lote durante o acabamento da PCI.

O tempo de teste elétrico de cada lote é difícil de ser estimado pois depende da quantidade de conexões elétricas existentes no modelo testado. Além disso, se a PCI em questão não possui equilíbrio de pontos de teste entre lados, solda e componente, poderá sobrecarregar um dos lados da máquina de teste ponto a ponto, levando a um grande aumento no tempo de Teste Elétrico. Além disso, esse processo é uma conferência exata das conexões do circuito projetado pelo cliente e, portanto, fundamental à qualidade do produto. Pode ocorrer, nesta etapa, a detecção de defeitos – curtos ou abertos – que não foram detectados pelas inspeções intermediárias. A localização desses defeitos para posterior remoção (no caso de curtos) pode ser demorada e impactar no tempo de Teste Elétrico.

Após o levantamento dos possíveis motivos para o aumento do tempo de processamento verificou-se, de modo qualitativo, se os resultados dos Gráficos 2 a 4 poderiam ser explicados apenas pelas diferenças no tipo de placa a ser processada em determinado lote. Observou-se que a variabilidade na resposta entre lotes é muito maior do que os motivos técnicos elencados. Portanto, o que se observa é um atraso decorrente da necessidade de se utilizar a mesma máquina para diferentes tempos de produção em lotes que estão sendo processados em paralelo.

3.4.1 Considerações sobre a análise crítica

Somados à análise crítica dos aspectos ambientais anteriormente descritos, os resultados encontrados pelo aspecto produtivo indicam que o problema mapeado, determinando os fluxos do processo e considerando o PDCA, pode ser descrito como de gerenciamento das filas antes dos processos cujos picos foram notados nos gráficos 2 a 4, o que leva a resultados satisfatórios no gerenciamento da linha de produção.

O gerenciamento de filas pode ser eficientemente controlado pelo uso de software ERP, como assinalado nos aspectos teóricos deste trabalho. Por outro lado, também foram ressaltadas as dificuldades de tal abordagem quando consideradas as particularidades da produção de PCIs. A principal dificuldade, como assinalado por pesquisadores que implantaram sistemas desenvolvidos ou apenas customizados de ERP é que o conceito do

software ERP é orientado a objeto/função não a processos, o que faz com que a maioria dos ERPs tenha blocos estanques que dificultam o uso para controle de processo (MARTINEK e SZIKORA, 2005; SVISZT, MARTINEK e SZIKORA, 2005).

Uma possível solução é o uso do software Preactor®, comum em logística para gerenciamento da produção. O conceito deste programa é o de esgotamento de capacidade de processos, o que pode ser um inconveniente, pois não foca a otimização da produção pelo gerenciamento das variáveis. O objetivo é que a linha seja balanceada, de forma a equalizar as variáveis existentes em cada lote, cada tecnologia processada, recursos disponíveis, bem como os prazos firmados com cada cliente, permitindo a previsão de término da produção no início do processo e observar prováveis contratempos e tomada de ações para evitá-los.

Pelo aspecto ambiental, o uso de ERPs pode ser adaptado, mas, também, tem limitações que devem ser consideradas, tais como o pouco controle de variáveis intrínsecas de processo, como por exemplo, toxidade presente em cada etapa de processo (LAMBERT, JANSEN e SPLINTER, 2000). Por outro lado, a questão ambiental mais premente não é a otimização de recursos – isso pode ser feito em conjunto com outras etapas de produção pelo uso de ERP – e sim os custos da produção de resíduos e seu manejo. Assim, supondo a produção otimizada, a abordagem para a destinação dos resíduos pode ser a de fechamento do ciclo de produção (MANAHAN, 1999; AYRES e AYRES, 1996), também conhecida como economia circular. Desse modo, os resíduos são analisados como possíveis matérias-primas em outras áreas de produção. Para tanto, deve-se analisar, nessa ordem, as viabilidades técnica, econômica, organizacional e regulatória de propostas para usos alternativos do material que esteja sendo enviado para descarte. Encontrada solução conveniente, este material pode ser categorizado como co-produto e ser tratado não só como inerente ao processo de produção, mas também com valor agregado.

O Gráfico 5, que corresponde ao primeiro indicador de fluxo de produção possui um perfil com ciclos iniciando e terminando em momentos muito distintos, que podem ser evidenciados pelo horário de início da produção, no eixo das ordenadas nomeado como horário de execução. Por exemplo, percebe-se um o início do processo produtivo (correspondente ao número 1 do Quadro 6) ao final da tarde, e a sequência do processo, durante os dias a seguir, evidenciados pelo ciclo de queda do gráfico, demonstrando que o processo seria retomado no dia seguinte, nas primeiras horas.

Assim, há grande quantidade de curvas ascendentes e descendentes ao longo do período avaliado. Isto mostra que todos os processos estão em funcionamento ao longo do dia,

com todos os lotes existentes em produção em locais diferentes, dificultando o planejamento, a previsibilidade de encerramento da produção do lote bem como previsões de matéria prima, manutenção e recursos humanos. Com todos os processos trabalhando em todos os momentos, se torna difícil a parada para manutenções preventivas e uma parada corretiva afeta o sistema e confunde mais o gestor para o reinício da operação.

As prioridades em uma operação cujos lotes seguem um fluxo próprio são difíceis de estabelecer no momento em que datas de entrega diferentes estão misturadas na operação e em momentos distintos entre si.

Utilidades como energia elétrica, água e ar comprimido necessitam estar disponíveis em todo o tempo. Matérias primas são disponibilizadas em todo o tempo. Neste cenário, o controle dos processos, por exemplo, galvânica, fica comprometido, pois um dos lotes que exija um consumo maior de um determinado processo, pode não ser repostado e causar perdas de lotes.

3.5 Proposta de otimização da produção

Após a extração inicial de dados a partir dos registros de produção dos lotes, foi realizada uma análise do quadro geral do sistema produtivo e ambiental. Esta análise é necessária para que possa fundamentar a proposta sobre uma estrutura existente e que leve a empresa a ser mais ágil no oferecimento dos produtos e prazos de entrega aos seus clientes;

3.5.1 Otimização dos aspectos produtivos – Utilização de *Software*

A empresa estudada planejava e controlava a produção por meio de planilhas eletrônicas contendo recursos de programação básica, mas que atendiam a necessidade de controle vigente no momento – produção em volume baixo - mas que não permitiam um controle apurado em caso de flutuações normais de mercado, muito menos uma previsão exata do tempo de produção e posição dos lotes ao longo da operação, tarefas que eram executadas pelo programador de produção. Com o aumento da demanda de mercado por circuitos impressos, por exemplo, em 2007, e oscilações de mercado que podem ser evidenciadas no Gráfico 6, ficou ainda mais difícil planejar e controlar a produção por meio das ferramentas já usadas. Com o aumento do volume produzido, já não era mais possível

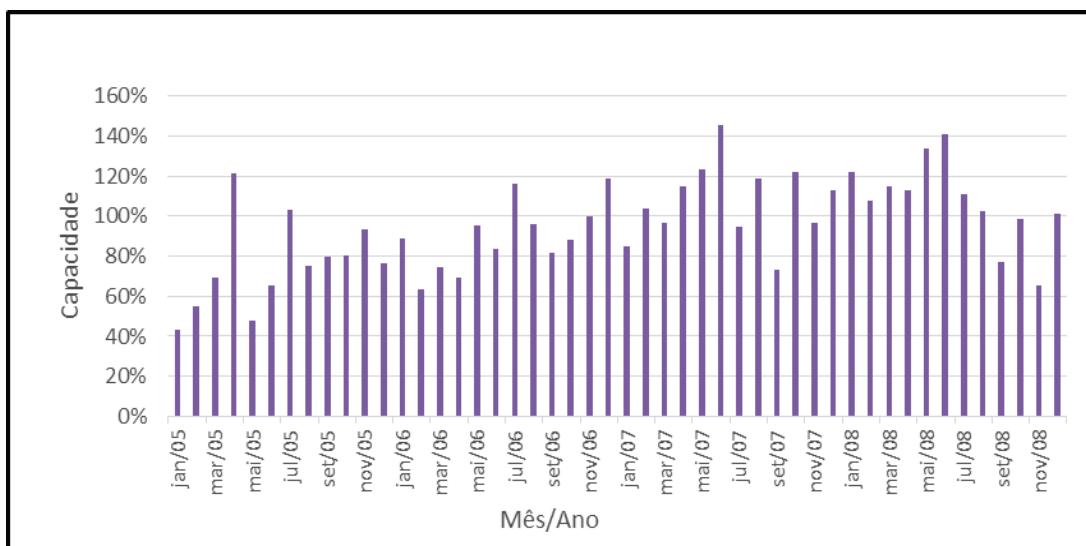
saber a posição de lotes na operação fabril de forma simples, e tampouco prever se a concatenação de operações relativas aos lotes em produção permitiria que um lote em específico fosse entregue na data prevista.

Como já mencionado anteriormente, a empresa em questão tem como característica a produção de pequenos lotes (protótipos) e lotes piloto sob encomenda, com prazos de produção curtos em comparação ao mercado estabelecido. O conjunto de operações pelos quais o lote é submetido é extenso e complexo, porém dispende de alta tecnologia aliada ao pronto atendimento ao cliente, o prazo de entrega se torna um diferencial competitivo.

Além disso, as ferramentas utilizadas faziam com que o sequenciamento de produção fosse realizado utilizando-se critérios subjetivos, impedindo a construção de cenários e simulações. Para tomada de decisão, além de não ser ágil o suficiente para enfrentar imprevistos, como entrada de novos pedidos com prazos de produção em regime de urgência, frequente no mercado onde a empresa atua, ou seja, constitui-se numa restrição muito relevante

A imprecisão no planejamento de produção levava ao uso de recursos extras de operação. O gasto despendido com estas horas extras tinha o objetivo de conter falhas de planejamento sob lotes já atrasados. O recurso de operação em regime de hora extra servia para minimizar as consequências do atraso ao cliente, pois o prazo acordado já não tinha sido atendido. Outro ponto a ser considerado são as flutuações de demanda de mercado. Estas variações também eram um fator de dificuldade em relação ao planejamento de produção, bem como a previsão de compras de matérias primas e a alocação de máquinas e recursos humanos. Este projeto levou a melhoria no planejamento de produção, reduzindo horas extras ou, se utilizadas, eram previstas e utilizadas de forma mais precisa, de acordo com as necessidades. Com a melhoria da previsibilidade, compras de matérias primas e utilização de recursos se tornaram mais racionais. Este, contudo, é um caso de melhoria incremental, mas que não facilita a implantação de futuras melhorias

Gráfico 6: Utilização de capacidade Fabril de 2005 até 2008



Fonte: Controle interno de capacidade da empresa estudada.

Além disso, as ferramentas utilizadas para controle da produção não permitiam a realização das manutenções preventivas na hora em que elas eram previstas e levava a paradas forçadas de equipamento para manutenções corretivas, impactando a linha de produção.

Assim, a definição de um planejamento de produção que pudesse reduzir o desperdício de tempo entre processos e conseqüentemente, o *lead time* de produção de Placas de Circuito Impresso, fazendo com que os prazos acordados com os clientes fossem atendidos de forma mais precisa se tornava cada vez mais necessário. Com base nestes requisitos e dificuldades levantadas, foi realizada uma pesquisa de mercado para que fosse encontrado um software que pudesse minimizar ou eliminar o uso de planilhas eletrônicas e atender aos requisitos determinados. O software escolhido foi o Preactor®.

Escolhido o software, e após todas as tratativas comerciais e de gerenciamento de projeto, iniciou-se a implementação do sistema. A seguir apresentam-se os resultados de uma avaliação SWOT⁴ efetuada com o gerente de operações responsável pela implantação, por meio de uma entrevista não estruturada (Quadro 7).

Quadro 7: Avaliação SWOT

Forças (Strength)	Fraquezas (Weakness)	Oportunidades (Opportunities)	Threats (Ameaças)
Análise Visual da Operação, contendo a posição e o andamento real do lote	Capacidade determinada pela característica média dos lotes	Possibilidade de negociação com cliente, já sabendo da possibilidade de atraso	Não é possível simular o impacto da entrada de um lote, podendo iniciar uma produção correndo o risco de atraso
Comunicação ágil das prioridades de produção pelo sistema	Aumento de estoque entre processos		
Cronoanálise	Não realiza previsões desde a área comercial		

Fonte: Próprio Autor, por entrevista não estruturada com o gerente de operações

O primeiro avanço obtido na implementação do sistema foi o estabelecimento de cronoanálise de processo. O tempo de cada um dos processos para uma placa básica, que era conhecido nos pontos mais evidentes, não era conhecido nos detalhes. Estes tempos foram

⁴ Strengths (Forças), Weaknesses (Fraquezas), Opportunities (Oportunidades) e Threats (Ameaças), ou seja, SWOT, ferramenta bastante conhecida para planejamento estratégico e produção de cenários.

levantados e determinados para serem inseridos no sistema como uma parametrização ou roteiro de produção.

Para o cálculo do tempo total de produção, foi necessário que houvesse uma extração dos parâmetros da placa a ser produzida (menor furo, quantidade de furos, tamanho de painel, menor pista, menor isolamento, extensão do contorno) que é realizada pela área de documentação, a partir do arquivo de projeto enviado pelo cliente.

Assim, uma planilha eletrônica era abastecida e o sistema fazia a extração destes dados e realizava um cálculo preliminar do tempo de produção, gerando um gráfico de Gantt específico para o lote importado. A cada lote cuja documentação estivesse liberada pela área responsável, uma importação era realizada. Então durante o horário de trabalho, eram realizadas várias entradas de dados. O inconveniente era que isto deveria ser executado a cada momento e o plano mestre de produção teria que ser refeito e, por consequência, gerando vários gráficos de Gantt.

Após a obtenção da planilha eletrônica, por meio de comandos executados, que neste caso deveriam ser realizados manualmente, o Preactor® concatenava todas as ordens dentro de um gráfico de Gantt extenso, contendo todas as ordens existentes na operação, disponibilizando uma lista de tarefas por processo, levando em consideração a data de entrega dos lotes e o tempo previsto em cada etapa.

Para que as listas de tarefas fossem disponibilizadas aos funcionários da operação, foi necessária a alocação de computadores em vários pontos da fábrica. Estas listas foram disponibilizadas nestes computadores por meio de programas que foram customizados para este fim, ou seja, gerou custo adicional. Ao executar um item desta lista de prioridades, o operador, por meio do sistema registrava a execução, e assim o sistema atualizaria todos os aplicativos da operação. O estabelecimento de prioridades para a operação é um ponto positivo na operação do software. Porém, isto requeria um conhecimento mínimo de operação de computadores pelos funcionários. Por outro lado, os lotes prioritários eram determinados pelo sistema e a comunicação entre a gestão da produção e a operação era mais efetiva.

O sistema Preactor® caracterizava-se por levar em consideração que a capacidade de produção dos processos deveria ser esgotada e realizada até o final do período de trabalho. Contudo, era possível observar que muitas vezes o estoque entre processos aumentava bastante, pois havia processos que não poderiam absorver toda a demanda enviada pelo processo anterior. Isto gerava desperdícios em termos de produto em processo, uso de

recursos em excesso, e criação de múltiplos gargalos, caracterizando o sistema como empurrado em algumas situações

Uma das grandes desvantagens deste software era o fato de não realizar o planejamento desde a área comercial. Ou seja, mesmo com um software implementado na operação, havia um risco de que o lote não pudesse ser entregue na data prevista devido à complexidade da interação entre processos e produtos produzidos. A extração de dados dos arquivos, que na prática é realizada pela documentação, poderia ser realizada de forma preliminar no momento da venda e a consulta do prazo de produção estimado poderia ser desenvolvida, mas com uma customização do sistema, com custos associados maiores que o previsto no momento da aquisição do software.

Porém, a análise preliminar pela área comercial não abrangeria todos os itens que o processo de documentação faria, devido ao curto espaço de tempo entre a consulta realizada pelo cliente e a emissão do orçamento. Era necessário manter esse tempo exíguo para preservar o foco estratégico da empresa em prazos curtos, ou seja, rápida resposta. Além disto, por um custo de desenvolvimento alto, existia o risco da complexidade na interação entre a produção já existente e a produção consultada e então, a consulta realizada pela área comercial poderia não funcionar corretamente. Devido aos riscos associados a esta decisão, a direção da empresa optou por interromper os investimentos neste sistema. Contudo, várias adaptações exigidas pela implantação do software, como comentado, foram mantidas, o que significou a melhoria incremental discutida anteriormente.

Neste contexto a nova tentativa de otimização (segunda etapa, como mencionado no início deste capítulo) foi projetada para atuar nas fraquezas observadas no uso do software, e, para tanto, usou a abordagem da produção mista.

3.5.2 Controle das restrições do processo

Assim, a segunda etapa de otimização objetivou preservar os bons resultados e as vantagens obtidos pelo uso do Preactor®, mas adicionando a análise das restrições por meio de ferramentas da qualidade. Análise in loco (observação direta do pesquisador) apontou que a organização da operação também fica comprometida no momento em que gestores que são especialistas em suas áreas acabam absorvendo áreas que não são sua especialidade. Isto faz com que tempo seja perdido em solução de problemas que poderiam ser resolvidos

rapidamente por um especialista, podendo levar a falhas que comprometem a qualidade do produto. Portanto, ocorreu um replanejamento do fluxo de produção.

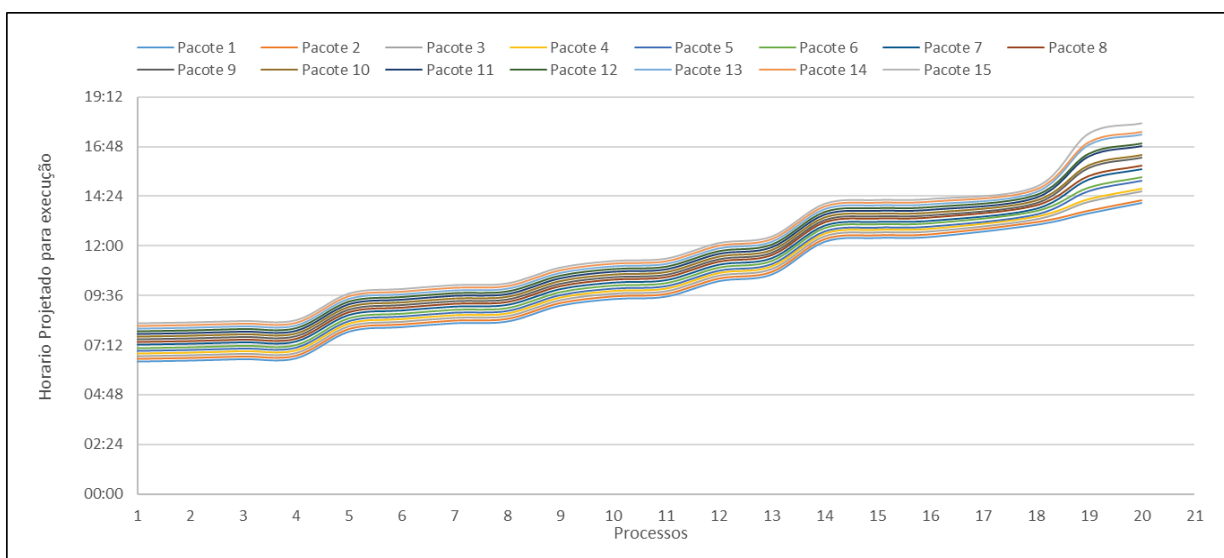
Deste modo, o tempo de cada processo, já definido pelo sistema no início de sua implementação, foi utilizado para que a simulação de uma produção fosse realizada do início ao fim, desconsiderando o tempo de geração da documentação interna (CAM) e da realização da furação do lote, processos com perfil de produção *Jobbing* e cuja incerteza quanto ao tempo de realização é alta – depende muito do *layout* - e devem ser gerenciados de forma distinta dos demais processos fabris.

Com a experiência obtida durante a utilização do software, foi possível observar que o tempo dos processos após a furação até o *Hot Air Leveling*, não são dependentes ou dependem pouco do tipo de placa que está sendo produzida. Por exemplo, o processo químico de primeira metalização independe da quantidade de furos existentes na placa. Se há 1000 ou 10000 furos, o tempo de ciclo é o mesmo.

Por outro lado, a segunda metalização pode se tornar um processo que pode levar a perdas caso a corrente a ser aplicada no cobre eletrolítico seja incompatível com a natureza do circuito. Placas com largura de pistas e isolações baixas (100 μm) são processadas com valores de corrente menores do que o padrão, da mesma forma que placas com pistas largas e isolações amplas são processadas com corrente maiores do que o padrão. Desta forma, comparando esta variação de tempo de processo com etapas que dependem exclusivamente da PCI, como acabamento mecânico ou teste elétrico, foi utilizado um valor teórico, com base nos conhecimentos de galvanoplastia para prever o tempo de processo nesta etapa.

Cada um dos tempos de processo foi levantado e registrado em uma planilha eletrônica. Nesta planilha, os dados foram organizados cronologicamente e por cada lote produzido. Simulações foram realizadas levando-se em consideração o volume de placas de circuito impresso que cada processo poderia produzir, de acordo com o maquinário disponível. O gráfico resultante desta simulação está apresentado no Gráfico 7.

Como não foram contempladas características específicas de cada lote, o fluxo projetado tem uma característica linear muito evidente. Caso o plano seja bem sucedido, toda a produção liberada pela manhã seria encerrada ao término do dia. Desta forma, os recursos foram disponibilizados e os gestores alocados para os horários onde havia necessidade da especialização deles, de forma a, se houver necessidade de atuação fora da especialização, apenas uma pequena atuação seria necessária.

Gráfico 7: Fluxo de Produção Projetado

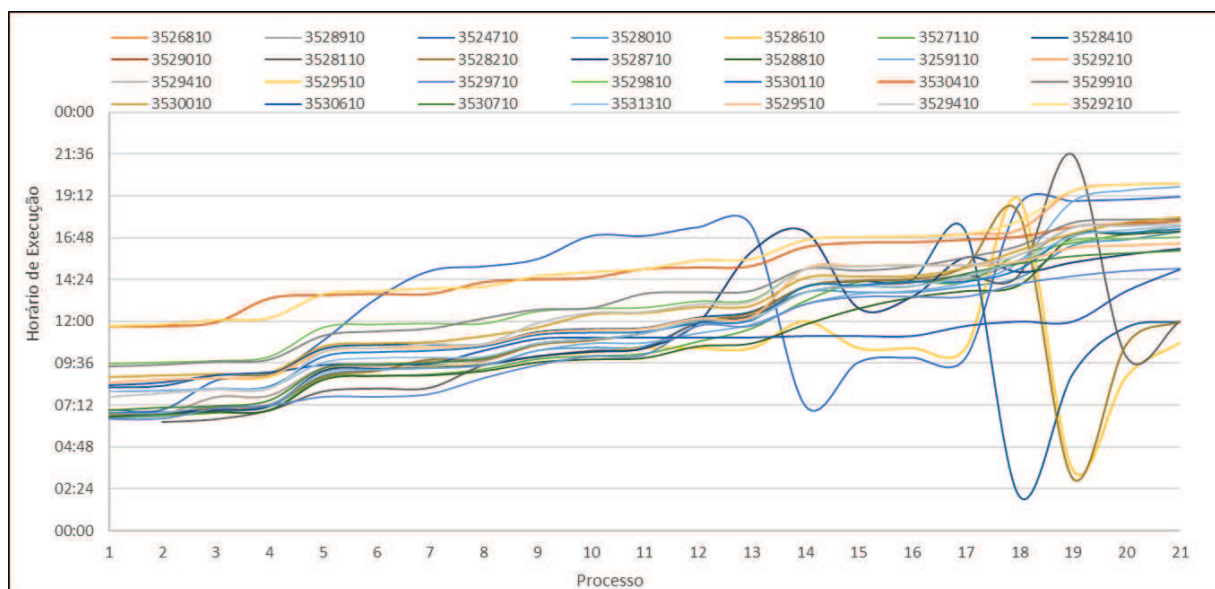
Fonte: Próprio Autor (2017)

Cada pacote corresponde a um lote que está sendo processado simultaneamente e contém 8 painéis. A quantidade de pacotes totaliza o volume em metros quadrados projetados para venda e produção. Com esta simulação foi possível avaliar quais eram as restrições do sistema e como a gestão da produção deveria atuar de forma a reduzir estes gargalos ou administrar o sistema de acordo com o fluxo do recurso gargalo. No Gráfico 7, é possível evidenciar que o processo com maior duração é a segunda metalização. De acordo com esta informação, o sistema foi projetado para que esta etapa fosse sempre abastecida, de forma a não haver paradas. Uma interrupção neste processo levaria a perdas de tempo por todo o sistema, não sendo mais recuperada.

Este projeto foi levado adiante com mudanças de horário, alterações de gestão de pessoal, e treinamento para os operadores que deveriam aprender outras funções. Depois de algum tempo de maturação – correspondendo a segunda e última fase de otimização desta etapa, que pode ser em média, de 3 meses por operação, devido a diversos fatores, como por exemplo, condições mercadológicas, eficácia do treinamento de funcionários, entre outros, realizou-se nova medição, utilizando os horários de execução do processo descritos na Ordem de Produção, conforme já realizado no passo anterior e o Gráfico 8 apresenta o resultado após a implementação do modelo proposto, em agosto de 2016.

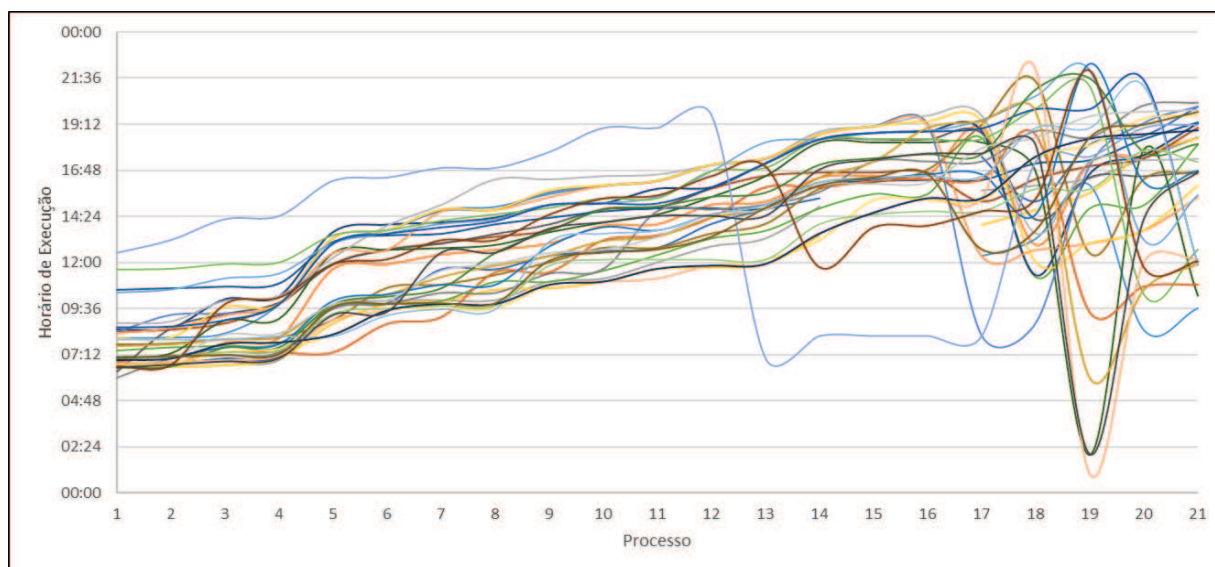
Em comparação com o Gráfico 5, é possível perceber que as linhas passaram a ter um comportamento mais linear e progressivo, embora estas linhas não estejam tão próximas como o projeto apresentado no Gráfico 7, é possível notar uma similaridade. Isto se deve em parte à quantidade de painéis de cada lote, já que o projeto foi concebido para tamanhos de lotes fixos médios. Porém este número pode variar de lote para lote. Há pequena instabilidade no resultado, fazendo com que algumas linhas se curvem e o lote reinicie o processo em um segundo dia, porém, também é possível notar que algumas linhas se encerram no mesmo dia. Isto ocorre porque, apesar de previsto, o tempo de processo nas etapas finais pode variar muito dependendo da característica da placa. Isto pode ser melhorado através da intensificação dos cálculos de tempo previsto e de carga-máquina para os processos finais.

Por um tempo, houve a adaptação do novo sistema, tomada de ações corretivas até que se pudesse obter dados confiáveis e, em outubro de 2016, uma nova avaliação foi realizada para monitorar o resultado da implementação da metodologia de otimização do processo produtivo. De forma similar ao Gráfico 8, os dados foram compilados e no Gráfico 9, é possível visualizar qual foi o segundo resultado obtido. Estima-se que o tempo total utilizado, da criação do modelo até a última etapa de avaliação foi de 18 meses.

Gráfico 8: Fluxo de produção Real após a implementação do Fluxo Projetado

Fonte: Registros de operação dos lotes

Gráfico 9: Segundo fluxo de produção Real após a implementação do Fluxo Projetado



Fonte: Registros de operação dos lotes

O Gráfico 9 possui 5 lotes a mais do que o Gráfico 8, devido ao aumento da produção ocorrido durante o estudo. É possível evidenciar que o comportamento do fluxo produtivo se mantém, independente do tamanho do lote, além de uma ordenação satisfatória até o processo 17 e se torna caótico no final do fluxo produtivo.

Uma das razões para este resultado é o fato de que, mesmo com a extração de dados pela área de documentação do produto para planejamento dos processos finais (vinco, contorno e teste elétrico), é um dado teórico em que o impacto real no planejamento passa a depender de outros fatores de complexa previsibilidade, como o diâmetro da fresa a ser usada no contorno de um lote, quantidade de vincos que um painel possui, ou distribuição de pontos de teste nas faces da placa a ser testada.

Por muitas vezes, a concatenação do tempo destes processos acaba impactando na chegada do lote até a expedição, pois são processos que dependem exclusivamente das características de cada placa de circuito impresso. Por mais que um fator médio seja estipulado para cada processo, se uma das características de qualquer lote for muito diferente da média, isto pode impactar em todo o fluxo produtivo no final do período.

Uma alteração relevante refere-se ao início de produções por todo o dia - considerado um “aproveitamento” do tempo, mas que na realidade exigia dos processos que estivessem disponíveis por todo o dia, com extrema sazonalidade e com recurso humano subutilizado – o que foi abolido; ou seja, se um lote ultrapassar determinado horário de produção ele será irremediavelmente parado até a manhã seguinte. Por outro lado, a previsibilidade conseguida com o processo compensa essa aparente rigidez. Além disso, a manutenção pode atuar nos processos e máquinas em horários nos quais não há produção, sendo possível estabelecer manutenções preventivas constantes, em momentos nos quais o processo não está em funcionamento. Com este último conjunto de dados o projeto foi considerado concluído em relação à otimização da produção.

3.6 Aspectos ambientais

Nesse aspecto, avaliou-se a possibilidade do tratamento dos efluentes químicos de modo mais integrado, em simbiose industrial com a área de tratamento de superfície. A questão fundamental aqui avaliada é se o tratamento destes efluentes pode ocorrer em conjunto com efluentes de outras indústrias que pertencem a área de galvânica. O que justifica tal hipótese é que, apesar da galvânica convencional utilizar uma variedade maior de processos de recobrimento, como anodização, zincagem, cromação e fosfatização, o processo

galvânico aplicado para produção de Placas de Circuitos Impressos utiliza basicamente os mesmos fundamentos de tratamento de superfície como desengraxe e desoxidação e utilizam depósitos metálicos como cobre e estanho, além de ouro em alguns casos. Assim, estas similaridades também se refletem aos resíduos gerados por estes tipos de negócio.

Considerando a proposta de fechamento de ciclo, como descrito na avaliação prévia da empresa, faz-se necessário verificar se para descarte de efluentes na área de superfície é similar ao da área de PCI, ou seja, cuidar da questão técnica. Em ambos, o tratamento do efluente é feito por estações de tratamento físico químicas, gerando, além da água tratada, lodo galvânico. Este material necessita ser transportado e transformado em material inerte para descarte apropriado no meio ambiente. Assim, é relevante verificar se a composição do material a sofrer transformação é similar; para tanto, comparou-se a composição do lodo galvânico oriundo de uma empresa de galvânica convencional, por exemplo, anodização, com a composição oriunda de PCI. O resultado é apresentado na Tabela 2. A presença de Alumínio em grande quantidade é para permitir a floculação; Cálcio, Bário ou Sódio são devidos, principalmente, ao controle de pH, a presença de Ferro apenas no tratamento de superfície deve-se ao substrato sob tratamento, metais ferrosos, ser diferente dos de PCI; a grande quantidade de Cobre em PCI deve-se ao processo de produção.

Tabela 2: Comparação entre a composição de lodos galvânicos da área de tratamento de superfície (anodização) e de PCI.

Metal	Anodização mg/kg ¹	PCI mg/kg ²
Alumínio	62.880	1.213
Prata	0	3
Bário	0	633
Cádmio	0	4
Cálcio	18.290	0
Cobalto	0	0
Cromo	10	2.313
Cobre	10	206.266
Estanho	0	264
Ferro	1.140	0
Manganês	0	354
Sódio	0	10.654
Níquel	60	145
Chumbo	0	943
Zinco	570	5.947

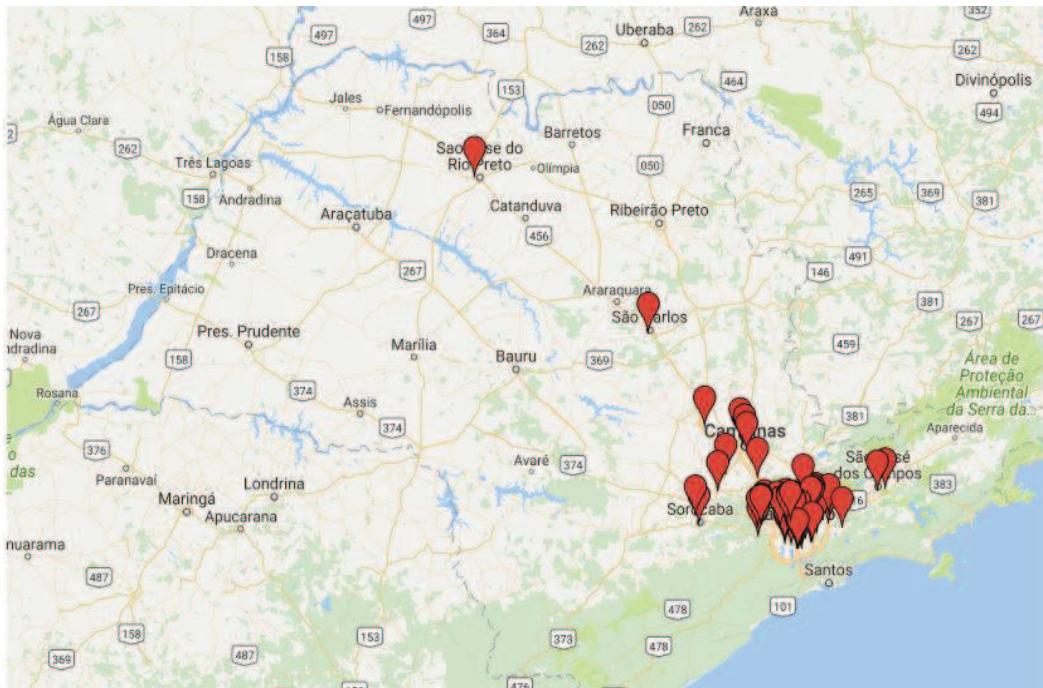
Fonte: Simas, 2007¹; Próprio Autor².

O processo de tratamento destes resíduos visando à recuperação de metais⁵ é principalmente pirometalúrgico ou eletrometalúrgico (BEIRIZ, 2005). Desta forma, é possível dizer que o resíduo gerado pela indústria de circuito impresso pode ser processado junto ao lodo gerado pela galvanica convencional, pois são resíduos complementares, com preponderância de um determinado metal, Alumínio para a galvanica de anodização e Cobre para a galvanica de PCI, refletindo assim a base de cada uma das indústrias. Isto também implica que, pelo aspecto econômico, há boas chances do fechamento de ciclo ocorrer; contudo, como o transporte do referido resíduo⁶ é a parte significativa do custo, torna-se necessário verificar a logística do processo, ou seja, se o tratamento em conjunto com empresas de tratamento de superfície implica em grande aumento do percurso. Para tanto, analisou-se a posição relativa no estado de São Paulo das indústrias de tratamento de superfície. Segundo dados da SINDISUPER (2015), que é o sindicato patronal associado a FIESP, em São Paulo, existem 89 empresas de tratamentos galvanicos, cuja localização geográfica está apresentada na Figura 4. De semelhante modo, é possível apresentar a localização geográfica das empresas produtoras de placas de circuito impresso no estado de São Paulo (SP), apresentada na Figura 5. As duas figuras apresentam boa similaridade no posicionamento das referidas indústrias além de indicarem alta concentração de indústrias na região do entorno da grande São Paulo. Portanto, pelo aspecto logístico há boas chances da parceria ocorrer.

⁵ Ver, por exemplo, Suzaquim Ind. Quim. Ltda.

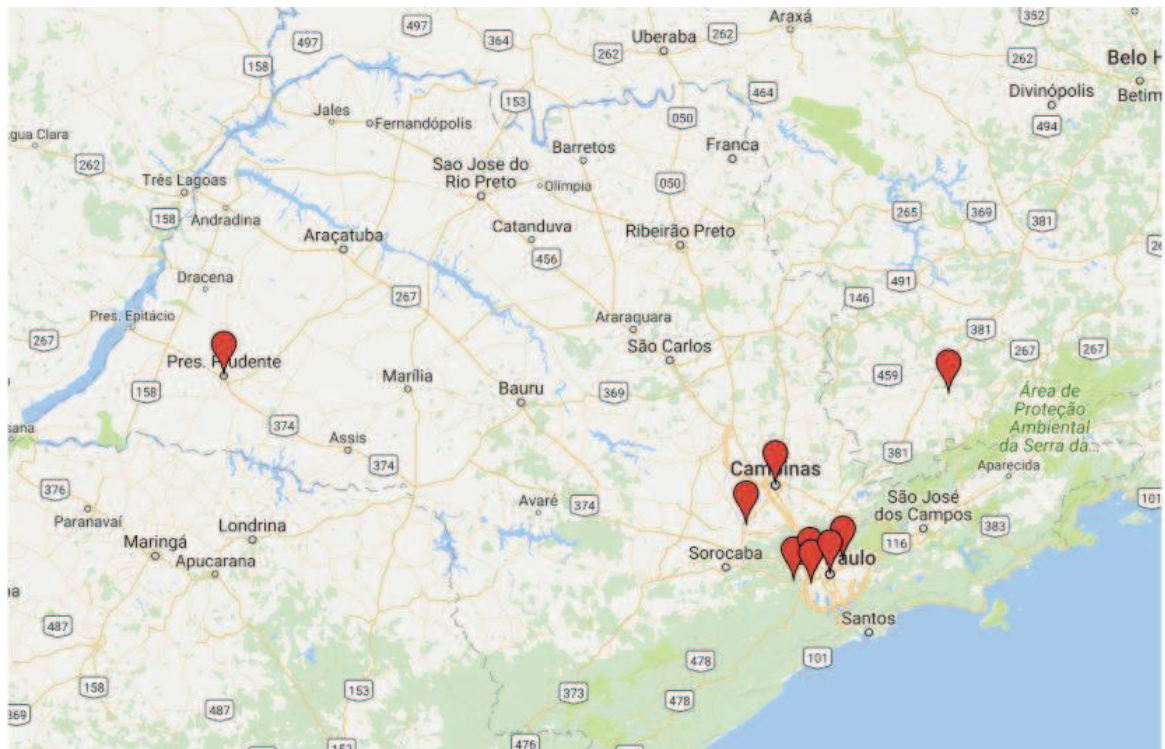
⁶ Informação direta do responsável pela área na empresa.

Figura 4: Localização Geográfica das empresas de tratamento de superfície no Estado de São Paulo



Fonte: SINDISUPER, 2015

Figura 5: Localização Geográfica das produtoras de circuito impresso em SP



Fonte: ABRACI (2012)

Pelo aspecto organizacional, é necessário verificar a disposição dos possíveis parceiros em formar novas simbioses. Um modo de se avaliar previamente a hipótese é obter informações sobre eventuais parcerias já realizadas, ao que se procedeu, com os resultados apresentados a seguir.

Percebeu-se que, historicamente, o tratamento de superfície já foi feito de modo sistêmico. Na década de 1990, uma iniciativa do governo do estado de São Paulo, chamada de “Projeto Tietê”, buscava detectar e impor regras às empresas que lançavam poluentes no rio que corta a Cidade. A indústria galvânica, conhecida por seu potencial poluidor foi obrigada a fornecer soluções imediatas aos seus efluentes e resíduos. A meta estabelecida pelo governo foi parar de poluir em um mês (FURTADO, 2003). Neste contexto, em 1994, surgiu a CENTRALSUPER, uma empresa oriunda do sindicato patronal SINDISUPER, que passou a receber os lodos das empresas associadas ao sindicato.

Aos poucos, devido ao volume de lodo galvânico armazenado, foi possível negociar preços para uma destinação inicial em fornos de cimento e aterros. Em 2003, iniciaram-se os estudos para uma nova tratativa do lodo galvânico. De uma parceria entre a CENTRALSUPER e o IPT, surgiu a Ecochamas. Esta empresa, com tecnologia desenvolvida para tratamento do lodo galvânico por plasma, possuiu investimentos privados e governamentais.

Inicialmente o forno de plasma deveria ter sido instalado próximo aos geradores de resíduo, em uma área central da cidade de São Paulo. Porém, os órgãos de fiscalização ambiental impediram a instalação, devido à alta densidade populacional, apesar do apoio das empresas de galvanoplastia. Com isto, a Ecochamas se instalou em Resende, no estado do Rio de Janeiro e iniciou suas operações. As informações obtidas indicam que a formação de simbiose industrial pode interessar ao SINDISUPER e à CENTRALSUPER.

Quanto ao aspecto legal, a Política Nacional de Resíduos Sólidos favorece a destinação de resíduos através de parcerias, principalmente no que concerne ao setor eletroeletrônico (ALVES, DE PAULA e PIMENTEL, 2017)

Estes indicadores mostram que é possível uma logística integrada entre os produtores de PCI, bem como empresas de galvanoplastia convencional, de forma a reduzir custos logísticos de movimentação dos resíduos químicos e também aumentar o poder de negociação entre as empresas de tratamento e as empresas geradoras de produtos químicos, reduzindo assim, os custos oriundos dos processos galvânicos e diminuindo o impacto ambiental.

CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como questão de pesquisa a otimização de uma linha de produção de placas de circuito impressos considerando-se as particularidades dessa área produtiva, como o alto número de parâmetros de processos, e do mercado brasileiro, onde um diferencial competitivo é entregar pequenos lotes em prazos exíguos. Para tanto, o trabalho procurou criar um modelo que otimiza o consumo dos recursos, facilita a gestão durante flutuações de mercado e ajuda na tomada de decisões.

Por tratar-se de pesquisa tanto qualitativa quanto quantitativa, com caráter exploratório e experimental, foram utilizadas várias ferramentas de pesquisa e da qualidade, como o ciclo PDCA para a melhoria contínua, em um planejamento flexível, mas que gerou dados reprodutíveis e parâmetros objetivos.

Existiram duas etapas completas e seqüenciais de análise do ciclo PDCA e que tentaram a otimização em primeira aproximação por software de ERP e, em seguida, usando a concepção produção mista. Enquanto o uso de software mostrou incremento pequeno no controle e otimização da produção, a análise do problema pela ótica da produção mista, que foi efetuada em duas etapas distintas, mostrou melhoria significativa e indicou um modelo simples, baseado em planilhas Excel®, como solução.

Uso de software ERP na área de PCI apresenta dificuldades porque a maioria dos softwares é voltada para controle de objeto, não de processo. Assim, mesmo com o uso de software mais apropriado para essa contingência, observou-se melhoria pequena, e, considerando-se o custo associado à compra, manutenção e principalmente customização do software, não justificável pelo aspecto econômico. Especificamente quanto ao software escolhido, Preactor®, as limitações podem ser atribuídas principalmente ao software ser mais adequado à produção contínua apesar de ser orientado a processos. Outra limitação era a dependência da planilha eletrônica e da necessidade de inserir manualmente muitos dados. Assim, um deslize poderia levar a cálculos errados e impactar a produção.

Usando o conceito de produção mista e ciclos PDCA de melhoria contínua, foi possível discriminar duas ações distintas para melhor resolver a questão de otimização. Para processos críticos de produção e com características de *jobbing*, como é o caso de furação, os processos e seus procedimentos de controle devem ser tratados fora do fluxo maior da produção. Quanto a este último, a cronoanálise favorece o andamento do trabalho com pouca

ou nenhuma incidência de picos de instabilidade na produção, ou seja, condições em que um ou mais processos não podem ocorrer por erros no gerenciamento da fila. Essa abordagem ainda tem as vantagens do baixo custo, já que depende apenas de planilhas Excel® a serem preenchidas por um número pequeno de pessoas, e rapidez da disponibilização da informação, o que impacta na tomada de decisões.

O resultado desta metodologia nos permite ampliar a previsibilidade da operação, apesar da aparente rigidez no início da produção do lotes. Manutenções preventivas podem ser executadas em horários nos quais as máquinas não estão em operação.

Pelo aspecto ambiental, este trabalho apresentou análise preliminar que indica a possibilidade de ganhos econômicos pela formação de simbiose industrial entre produtores de PCI e de fornecedores de tratamento de superfície.

Possíveis trabalhos futuros são a aplicação deste modelo em outras empresas da área ou mesmo em empresas distintas, mas que apresente as mesmas restrições e particularidades da área de PCI. Outra possibilidade é continuar a análise em relação aos aspectos ambientais, uma vez que se a simbiose industrial poderia significar ganhos econômicos. Assim, estudos laboratoriais deveriam ser desenvolvidos e, se em pequena escala a proposta parecer viável, um plano de negócios deveria ser desenvolvido.

Durante o desenvolvimento desta dissertação, os seguintes trabalhos foram apresentados:

FERREIRA, N. M.; SILVA, M. L. P. Dificuldades e limitadores da otimização da produção de placas de circuito impresso. X Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2015

FERREIRA, N. M.; SILVA, M. L. P. Achievements and Drawbacks of a PPC Software Implementation in a Brazilian Printed Circuit Boards Manufacturer, 27th Annual Conference of the Production and Operations Management Society (POMS), Orlando, USA, 2016

FERREIRA, N. M.; SILVA, M. L. P.; FERREIRA, J.S.L., A Chemical Waste Management / Reverse Logistics Partnership as a Key to Cost Reduction, 27th Annual Conference of the Production and Operations Management Society (POMS), Orlando, USA, 2016

FERREIRA, N. M.; SILVA, M. L. P. Gerenciamento de resíduos químicos: parceria em logística reversa para redução de custos. XI Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, 2015

REFERÊNCIAS

- ALVES, L. A., DE PAULA, A. R., PIMENTEL, L. R. Resíduos Eletroeletrônicos: Considerações sobre a logística reversa e sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Boletim de Geografia**, v. 34, n. 3, p. 16-29, 2017.
- ARAÚJO, L. E. D. **Nivelamento de Capacidade de Produção utilizando Quadros Heijunka em Sistemas Híbridos de Coordenação de Ordens de Produção**, 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
- ARAÚJO, L.E.D.; RENTES, A.F., Nivelamento de Capacidade de Produção em Sistema Híbrido de Coordenação de Ordens de Produção, **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos, SP, Brasil, 2010.
- ARBUCIAS, J. G. **Melhoria da sustentabilidade pela aplicação do conceito de ecologia industrial: estudo de caso no setor eletro-eletrônico**. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno? **REVISTA USP**. São Paulo. n. 103. p. 13-24, 2014.
- AYRES, R.U. AYRES, L.W. **Industrial Ecology: Towards Closing the Materials Cycle**. 1ª edição. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishers, 1996.
- BALATON, V. T.; GONÇALVES, P. S.; FERRER, L. M. Incorporação de resíduos sólidos galvânicos em massas de cerâmica vermelha. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 6, p. 42-45, 2002.
- BARNES, R. M. **Motion and Time Study – Design and Measurement of Work**. 1ª edição New York: John Wiley & Sons, 1990.
- BATALHA, O.M. **Introdução à Engenharia de Produção**. 1ª edição. São Paulo: Elsevier, 2008.
- BECKER C., SCHOLL, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, **European Journal of Operations Research**, v.168, 3ed, p.694-715, Fevereiro de 2006.
- BEIRIZ, F. A. S. **Gestão ecológica de resíduos eletrônicos: Proposta de modelo conceitual de gestão**. 129 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005.
- BELL, G. Bell's law for the birth and death of computer classes: A theory of the computer's evolution. **IEEE Solid-State Circuits Society Newsletter**, v. 13, n. 4, p. 8-19, 2008.
- BLOWERS, M., IRIBARNE, J., COLBERT, E., KOTT, A. The Future Internet of Things and Security of its Control Systems. In Colbert, Edward J. M., Kott, Alexander. **Cyber-security of SCADA and Other Industrial Control Systems** Editors, Switzerland, Springer International Publishing, v.66 p.355, p 323-355. 2016.
- BOIKO, T. J. P.; MORAIS, M. F.; VAROLO, F.W.R.; TSUJIGUCHI, L.T.A. Uma análise dos trabalhos em programação da produção publicados no Brasil envolvendo estudos de

casos. **XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Carlos, SP, Brasil, outubro de 2010.

BONNEY, M. C.; ZHANG, Z.; HEAD, M.A.; TIEN, C.C.; BARSON R.J. Are push and pull systems really so different? **International Journal of Production Economics**. v. 59, n. 1, p. 53-64, 1999.

BREJÃO A. S. **Possível Impacto da Logística Reversa na melhoria da Sustentabilidade: Um estudo de caso do setor Eletroeletrônico**, 148 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental), Centro Paula Souza, São Paulo, 2012.

CARMO, A.S.S.; BITTENCOURT, M.V.L.; RAIHER, A.P.: A competitividade das exportações do Brasil e da China para o Mercosul: evidências para o período 1995-2009, **Revista Nova Economia**, Belo Horizonte, vol.24, n. 3, Set/Dez 2014.

CHEN, S.; CHANG C.; LIU K.; CHEN; H.; YEH, S. (2012). Implementing the product data management into enterprises: Five Case Studies, **Australian Journal of Business and Management Research**, vol. 2, n. 3, p.19-24, Junho de 2012.

CHOI S., PARK M., LEE D., JEONG K., LIM S. (2006). A Conceptual Framework of an Advanced Planning and Scheduling System for Printed Circuit Board Manufacturing Lines, **Asia Pacific Management Review**, v.11, n.3, p.133-139, 2006.

CHURCH, K. H. TSANG, H. RODRIGUEZ, R. DEFEMBAUGH, P. RUMPF, R., Printed Circuit Structures, the Evolution of Printed Circuit Boards, **IPC APEX EXPO Conference Proceedings**, San Diego, USA, p. 19-21, 2013.

CONTADOR, C.J.; **Gestão de Operações** A Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa. 3ª ed. São Paulo, Edgar Blücher, 2010.

COOMBS, C. HOLDEN, H. **Printed Circuits Handbook**. 7a ed. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2016.

COSTA, C. A. **Sorção de Íons Cobre, Níquel e Zinco com o Rejeito do Beneficiamento de Carvão e Outros Materiais Alternativos**. 1998. 64 f. Dissertação. (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998

COX III, J. F.; SPENCER, M. S. **Manual da Teoria das Restrições**: Prefácio de Eliyahu M. Goldratt. 1ª ed, São Paulo: Bookman, 2002.

EIDELWEIN, F.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V.; PIRAN, F. S.; NUNES, F. L. Precisão conceitual em Engenharia de Produção: uma abordagem teórica. **Revista ESPACIOS** v. 37, n 26, 2016.

FALKENAUER, E. Line Balancing in the Real World. **Proceedings of the international conference on product lifecycle management**, Lyon, França p. 360 – 370, Julho, 2005.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Sistemas de coordenação de ordens: classificação, funcionamento e aplicabilidade. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 14, n. 2, p. 337-352, mai-ago, 2007.

FERNANDEZ-FLORES, O; SPEER, T; DAY, R. Design considerations of scheduling

systems suitable for PCB manufacturing. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v.58, article 157, Outubro 2009.

FERREIRA, N. M.; SILVA, M. L. P. Gerenciamento de resíduos químicos: parceria em logística reversa para redução de custos. **XI Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza**, 2015.

FLEURY, A., CAUCHICK MIGUEL, P.A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. São Paulo, Elsevier, 2012.

FLEURY, A.C.C.; FLEURY, M.T.L. **Aprendizagem e inovação organizacional: as experiências de Japão, Coréia e Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Atlas, 1995.

FURTADO, M. Resíduos industriais: Terceirização de serviços e tecnologia melhoram perspectivas do mercado. 2003. Disponível em <<http://www.quimica.com.br/pquimica/26170/residuos-industriais-terceirizacao-de-servicos-e-tecnologia-melhoram-perspectivas-mercado/7/>> Acesso em 21 de novembro de 2016.

GAITHER, N; FRAZIER, G. **Administração da produção e operações**. 8ª ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

GOLDRATT, E. M., COX, J. A **Meta - Edição Comemorativa 30 Anos - Teoria Das Restrições (Toc) Aplicada à Indústria**, 1ª ed. Editora Nobel, 2014.

GROOVER, M.P., **Fundamentals of modern manufacturing: materials, process, and system**. 3a ed, New Jersey, John Wiley and Sons, Inc. 2007.

HASHIBA, L. **A colaboração com fornecedores e clientes, e sua influência no desempenho da firma: uma análise empírica na indústria brasileira de embalagens**. 198f. Dissertação (Mestrado em Administração de Empresas). Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, 2008.

HODGES, S., TAYLOR, S., VILLAR, N., SCOTT, J., BIAL, D., FISCHER, P. T. Prototyping connected devices for the internet of things. **Computer**, v. 46, n. 2, p. 26-34, 2013.

HOPP, W.J.; SPEARMAN, M.L. **Factory Physics**. Foundation of Manufacturing Management International Edition. 2a ed. Boston, USA: Irwin McGraw-Hill, 2000.

IP, W. H.; CHAU, K. Y.; YAM, R. C. M. Enhancing manufacturing information management through TQM. **Logistics Information Management**, v. 12, n. 4, p. 315-324, 1999.

JABBOUR, A. B. L. S.; JABBOUR, C. J. C. Lançando luzes sobre a gestão de operações do setor eletroeletrônico brasileiro. **Revista Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 46, n. 3, p. 817-840, Junho de 2012 .

LAMBERT, A.J.D.; JANSEN, M. H; SPLINTER, M. A. M. Environmental information systems based on enterprise resource planning. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 11, n. 2, p. 105-112, 2000.

LATOUR, B. Para distinguir amigos e inimigos no tempo do Antropoceno, **Revista de Antropologia – USP**, v. 57, n. 1, 2014.

LIMA, O. F., LEITE, J. P., BARBOSA, R. F., PEREIRA, D. A. M., SOUSA, F. K. A. Implantação de layout celular na montagem de cadernos em uma indústria do setor gráfico. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Belo Horizonte, MG, Brasil, outubro de 2011.

LIMA, S. C. Da substituição de importações ao Brasil potência: Concepções do desenvolvimento 1964-1979. **AURORA**, ano V, n. 7, p.34-44, 2011.

LOVELOCK J., **A Vingança De Gaia**, 1ª ed, Rio de Janeiro: Editora Intrínseca, 2006.

MACCARTHY, B.L., FERNANDES, F.C. A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. **Production Planning & Control**, vol.11, n.5, pp.481-496, 2000.

MANAHAN, S.E. **Industrial Ecology: Environmental Chemistry and Hazardous Waste**, 1ªed. Boca Raton: CRC Press, 1999.

MARTINEK, P. Quality management and workflow control in printed circuit board production at the TU Budapest. **27th International Spring Seminar on Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress**, v.2, 272-275, maio de 2004.

MARTINEK, P.; SZIKORA, B. Integrated enterprise resource planning systems. In: **Electronics Technology: Meeting the Challenges of Electronics Technology Progress. 28th International Spring Seminar on IEEE** p. 431-435, 2005.

MATERA, R. R. T. O desafio logístico na implantação de um aeroporto indústria no Brasil. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 4, p. 190-214, 2012.

MATTOS, C. S. **Geração de resíduos sólidos de galvanoplastia em regiões densamente povoadas - avaliação, inertização e destinação**. 134f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MATUSZEK, J.; MLECZKO, J. Production control in moving bottlenecks in conditions of unit and small-batch production. **Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences**, v. 57, n. 3, p. 229-239, 2009.

McMANN, P. J.; NANNI, A. J. Means versus ends: a review of the literature on Japanese management accounting. **Management Accounting Research**, v.6, 4 ed., p. 313-346, 1995.

MENESES L. V. T.; ASSUNÇÃO J. V. A Gestão Ambiental do Setor de Tratamento de Superfície da Região Metropolitana de São Paulo, **REVISTA INTERFACEHS** - v.6, n.1, Abril de 2011.

MESQUITA, M. A., SANTORO, M. C, Análise de modelos e práticas de planejamento e controle da produção na indústria farmacêutica, **Revista Produção**, v. 14, n. 1, 2004.

MOHAMED, N.M.Z.N. KHAN, M. K. Decomposition of manufacturing processes: a review, **International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)**, v.5, p. 545-560, January-June 2012.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

NICOLINI, M. A. S. **Logística Colaborativa** – Como a evolução dos conceitos contribui para a otimização e integração dos processos logísticos. 48f. Dissertação (Especialização em Gestão de Logística Empresarial). Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, 2011.

NUNES, D. M., MELO, P.A.C., NIGRO, I. S. C., Planejamento, programação e controle da produção: o uso da simulação do preactor em uma indústria de alimentos. **XXIX Encontro nacional de engenharia de produção**, Salvador, BA, 2009.

OLAVE, M. E. L., AMATO NETO, J. Redes de cooperação produtiva: uma estratégia de competitividade e sobrevivência para pequenas e médias empresas. **CEP**, v. 5508, p. 900, 2001.

OLIVEIRA, H. M. R.; REZENDE, L. M. M.; KOVALESKI, J.L. Aplicabilidade da filosofia enxuta em indústrias de processo contínuo , **IV Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, UFPR, Ponta Grossa, 2014.

PINTO, F. M. **Resíduo de lodo galvânico: caracterização, tratamento, recuperação e reuso**. 131 f. Dissertação (Mestrado em Agroquímica), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico, 2a edição, Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUEIROZ, E. F. **Melhoria de processos pelo levantamento de indicadores ambientais via software**. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

QUEIROZ, E. F., SILVA M. L. P., Continuous Improvement of Processes on the Electronic Sector: obtaining Environmental Indicators using Software, **1st International Workshop - Advances in Cleaner Production**, Sao Paulo, Novembro, 2007.

RANGEL, D. A.; FREITAS, L. M.; DO RÊGO, T. P. Aumento da eficiência produtiva através da redução do tempo de Setup: aplicando a troca rápida de ferramentas em uma empresa do setor de bebidas. **Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia de Produção**, v. 10, n. 1, p. 36-49, 2012.

RODIC, B., KANDUC, T, Optimisation of a complex manufacturing process using discrete event simulation and a novel heuristic algorithm; **International Journal of mathematical models and methods in applied sciences**, Vol 9, 2015.

SANTOS, A.C.S.; DA COSTA, H.M.; RAMOS, V. D. Efeito de um Resíduo do Processo de Galvanoplastia sobre a Vulcanização da Borracha Natural (NR). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 3, p. 255-261, 2009.

SCARPELLI, M. **Sistemas de produção agroalimentar**: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção. 297 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

SELLÉS, J. M. Los secretos de las empresas World Class para llegar a la excelência. **Revista de Contabilidad y Dirección**. v. 19, p. 91-99, 2014.

SIMAS, R. **Levantamento da geração de resíduos galvânicos e minimização de efluentes contendo cianeto**. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná. 2007.

SLACK, N.; JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S. **Administração da Produção**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STRAUHS, F. R. **Gestão do conhecimento em laboratório acadêmico**: proposição de metodologia. 480 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2003.

SVISZT, O.; MARTINEK, P.; SZIKORA, B. Typical features of printed circuit board production enterprise resource planning systems **28th International Spring Seminar on Electronics Technology**. Maio de 2005.

TAYLOR, F. **Princípios de Administração Científica**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 1995.

WECC Global PCB Production Report For 2013, 2014

WILLIAMSON, M. Decline and fall of the motor city. **Engineering & Technology**, v. 9, 12 ed., p. 72 – 75, Dezembro de 2014.

YIN, R. **Estudo de Caso**. Planejamento e Métodos. 5ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZUFFO, J. A. A Infoera transformando as relações sociais. **Revista Comunicação & Educação**, São Paulo 10, p. 61-70, 2005.

ANEXO A – AUTORIZAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO ESTUDO NA EMPRESA MICROPRESS LTDA

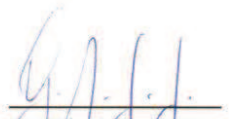


AUTORIZAÇÃO PARA USO DE INFORMAÇÕES

São Paulo, 22 de maio de 2017

A Micropress Ltda. inscrita no CNPJ sob o número 56.606.544/0001-56 tem ciência e autoriza a divulgação do nome da empresa e permite a utilização de dados na dissertação de mestrado do aluno Neemias de Macedo Ferreira, intitulado "OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE PEQUENOS LOTES DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO".

Sem mais para o momento,



Gilmar Ap. de Souza Jr.
Gerente Administrativo