

Pontifícia Universidade Católica de Goiás Programa de Mestrado em
Engenharia de Produção e Sistemas

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
SISTEMA DE PRODUÇÃO EM UMA
INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO DE
ROUPAS USANDO REDES DE PETRI**

Alexandre Gomes da Cruz

2018

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO DE ROUPAS USANDO REDES DE PETRI

Alexandre Gomes da Cruz

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas**.

Orientador: Prof. Clarimar José Coelho Dr.

Coorientador: Prof. Rafael Viana Carvalho Dr.

**Goiânia, GO, Brasil
2018**

C957m Cruz, Alexandre Gomes da

Modelagem e simulação de sistema de produção em uma indústria de confecção de roupas usando redes de Petri [recurso eletrônico] / Alexandre Gomes da Cruz. -- 2018.

156 f. : il.

Texto em português com resumo em inglês

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia de Produção e Sistemas, Goiânia, 2018

Inclui referências, f. 113-122

1. Petri, Redes de. 2. Roupas – Confecção – Simulação por computador. 3. Métodos de simulação. I. Coelho, Clarimar José. II. Carvalho, Rafael V. – (Rafael Viana de Carvalho). III. Pontifícia Universidade Católica de Goiás. IV. Título.

CDU: 681.5.017 (043)

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO DE ROUPAS USANDO REDES DE PETRI

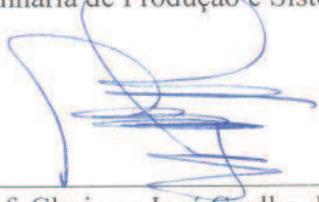
ALEXANDRE GOMES DA CRUZ

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás em setembro de 2018.

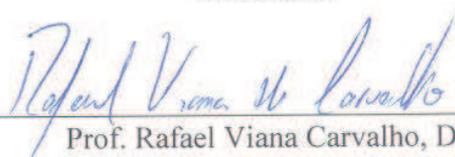


Prof. Marcos Lajovic Carneiro, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Sistemas

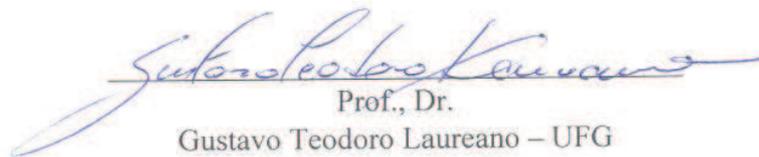
Banca Examinadora:



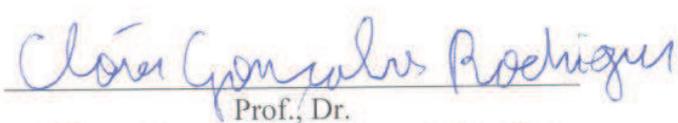
Prof. Clarimar José Coelho, Dr.
Orientador



Prof. Rafael Viana Carvalho, Dr.
Coorientador



Prof., Dr.
Gustavo Teodoro Laureano – UFG



Prof., Dr.
Clóves Gonçalves Rodrigues – PUC-GO

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por me permitir trilhar o caminho do conhecimento e me abençoar com minhas conquistas.

À minha família (esposa e filha) por serem o meu leme e meu farol. Meu pai (*in memoriam*), minha mãe e irmão por todo apoio dado ao longo da vida.

Ao meu orientador Professor Clarimar José Coelho pelas contribuições ao longo da pesquisa.

Ao meu Coorientador Professor Rafael Viana Carvalho que, com paciência, me apoiou durante a realização da minha dissertação e trouxe valiosas contribuições que permitiram a execução dessa pesquisa.

Aos demais Professores do mestrado que direta ou indiretamente forneceram conhecimento para meu embasamento teórico.

Ao nosso companheiro Ernani que sempre se colocou à disposição para ajudar com todo tipo de informações e muito ajudou com suas palavras de incentivo.

A todos os amigos que fiz no mestrado e que, em inúmeras vezes me estenderam a mão ou simplesmente compartilharam muitas alegrias ao longo dessa caminhada.

À banca examinadora por aceitar o convite e indicar sugestões de melhoria para enriquecimento da dissertação.

À empresa “Alfa”, nas figuras do seu Diretor Industrial – Sr. Cláudio, do Encarregado de PCP – Sr. Ricardo e da Encarregada da Produção – Sr.^a Tatiane, que gentilmente contribuíram com as informações e dados necessários para a construção deste trabalho.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse trilhar essa estrada rumo a minha formação.

EPÍGRAFE

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMA DE PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO DE ROUPAS USANDO REDES DE PETRI

Alexandre Gomes da Cruz
Setembro/2018

Orientador: Prof. Clarimar José Coelho, Dr.
Coorientador: Prof. Rafael Viana Carvalho, Dr.

A modelagem e simulação computacional são ferramentas importantes na busca pela otimização de processos, especialmente na indústria onde a busca pela produção mais rápida, de melhor qualidade e com menor custo fazem a diferença para uma empresa. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo sobre o processo de produção de uma camisa gola polo em uma empresa do setor de confecção de vestuário no Polo Empresarial Goiás em Aparecida de Goiânia. O objetivo é avaliar o processo de manufatura através da simulação de diferentes cenários na busca por gargalos e apontar soluções que possam melhorar a eficiência da produção. Para tanto, foi utilizado o formalismo de redes de Petri para modelar, simular e analisar o processo de produção. Inicialmente, um modelo qualitativo foi utilizado para representar a dinâmica do processo de manufatura e seus componentes para produzir a camisa gola polo. O modelo foi analisado qualitativamente considerando a estrutura e o comportamento da rede. Em seguida, o problema foi abordado usando um modelo quantitativo, adicionando os tempos gastos em cada etapa do processo de manufatura, as quantidades de matéria-prima utilizadas na produção de um lote da camisa gola polo, segundo os dados coletados junto à empresa, bem como as probabilidades de defeitos das máquinas e de absenteísmo. Assim, identificou-se os gargalos que poderão ser trabalhados dentro do setor de produção, destacou-se a necessidade da criação de controles mais rígidos dos processos ao longo da produção, atestando o uso do formalismo de redes de Petri na modelagem e simulação de cenários de produção. Comprovou-se, então, o formalismo como uma ferramenta versátil, confiável e de fácil manuseio na busca pela melhor configuração que possa atender aos prazos dos pedidos contratados pelos clientes.

Palavras Chave: Confecção de roupas, Simulação, Redes de Petri Estocástica, Snoopy, Charlie.

**MODELING AND SIMULATION OF PRODUCTION SYSTEM IN A GARMENT
INDUSTRY USING PETRI NETS**

Alexandre Gomes da Cruz
September/2018

Advisor: Prof. Clarimar José Coelho, Dr.

Joint Advisor: Prof. Rafael Viana Carvalho, Dr.

ABSTRACT

Computational models and simulation are important tools to optimize processes, especially in industry where the improvement of the production in speed, low cost and quality can make a difference for a company. This work presents a study on a production process of a polo shirt in a company of the garment industry of the Polo Empresarial Goiás in Aparecida de Goiânia. The objective is to evaluate the manufacturing process by simulating different scenarios finding bottlenecks and point solutions that can improve the production efficiency. To this end, it is used the Petri nets formalism to model, simulate and analyze the production process. Initially, a qualitative model is used to represent the dynamic process of the manufacturing and the components to produce the polo shirt. This model is qualitatively analyzed considering the net structure and behavior. Next, the problem will be approached using a quantitative model, adding the time spent on each step of the manufacturing process, as well as the quantities of raw material used in the production of polo shirt batch, according to the data collected from in the company, as well the probability of machine defect and absenteeism. Thus, the bottlenecks that could be worked within the production sector were identified, it was highlighted the need to create more rigid controls of processes throughout production, attesting the use of Petri net formalism in the modeling and simulation of scenarios of production. The formalism was proven as a versatile, reliable and easy-to-use tool in the search for the best configuration that can meet the deadlines of the orders contracted by the customers.

Keywords: *Clothing manufacturing, Simulation, Stochastic Petri Nets, Snoopy, Charlie*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo produtivo da cadeia têxtil e de vestuário.	25
Figura 2 - Etapas de produção para confecções.	27
Figura 3 - Layout do produto Camisa Gola Polo e as suas 19 partes enumeradas.	34
Figura 4 - Setor de costura da empresa Alfa e a disposição de suas células.	35
Figura 5 - Camisa gola polo com detalhe da composição da Gola.	37
Figura 6 - Detalhe da composição do forro revel com etiquetas e do peitilho com <i>patch</i> . .	38
Figura 7 - Camisa gola polo com detalhe das casas, botões e placa de metal.	39
Figura 8 - Exemplo básico de uma Rede de Petri.	42
Figura 9 - Estado de entrada (pré-estado) p_1 e Estado de saída (pós-estado) de uma determinada transição t_1	43
Figura 10 - Exemplos de Rede de Petri: (a) Não marcada (b) Marcada.	46
Figura 11 - Estrutura conceitual do formalismo da rede de Petri.	47
Figura 12 - Tipos de Arcos nas (XPN): (a) Arco de leitura; (b) Arco inibidor.	48
Figura 13 - Modelagem do processo de produção da célula de costura.	61
Figura 14 - Estrutura hierárquica da Rede de Petri no setor da Costura da empresa Alfa. .	62
Figura 15 – Estrutura da rede de Petri qualitativa modelada no Snoopy representando o fluxo da produção da empresa Alfa.	70
Figura 16 - Estrutura da rede de Petri representando o setor de Suprimentos.	71
Figura 17 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 1.	72
Figura 18 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 2.	72
Figura 19 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 3.	73
Figura 20 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 4.	73
Figura 21 - Estrutura hierárquica da rede de Petri representando a Célula 5.	74
Figura 22 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 6.	74
Figura 23 - Estrutura da sub rede qualitativa no nível N2 de hierarquia.	75
Figura 24 - Estrutura da sub rede quantitativa no nível N2 de hierarquia.	76
Figura 25 – Produção final ao longo do tempo no modelo determinístico.	85

Figura 26 – Modelo determinístico com destaque para os acúmulos de marcações.	86
Figura 27 – Representação de gargalos dentro do sistema.	87
Figura 28 – Gargalo na transição FECH_GOLA3.	88
Figura 29 – Gargalo na transição GOLA2.	89
Figura 30 – Esquema estocástico da transição FECHA_GOLA3.	91
Figura 31 – Produção final ao longo do tempo no modelo estocástico.	92
Figura 32 – Consumo e produção de marcas da transição MANGAS.	93
Figura 33 – Consumo e produção de marcas da transição FECH_GOLA3.	94
Figura 34 – Consumo e produção de marcas da transição GOLA1.	95
Figura 35 – Consumo e produção de marcas da transição MAQ_PLC.	96
Figura 36 – Consumo e produção de marcas da transição CASEADO.	97
Figura 37 – Sub-rede original com uma máquina x sub-rede com duas máquinas.	98
Figura 38 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).	99
Figura 39 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).	100
Figura 40 – Novo gargalo na rede reposicionado na transição GOLA1.	100
Figura 41 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).	101
Figura 42 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).	102
Figura 43 – MAQ_PLC: Produção final com 1 máquina x produção final com 2 máquinas.	103
Figura 44 – MAQ_PLC: Produção final com 1 máquina x produção final com 3 máquinas.	104
Figura 45 – CASEADO: Produção final com 1 máquina x produção final com 4 máquinas.	105
Figura 46 – Produção final original x produção final adicionando 7 máquinas distribuídas ao longo da rede.	106
Figura 47 – Produção final original x produção com acréscimo 2 máquinas.	107
Figura 48 – Produção final original x produção com acréscimo de 3 máquinas.	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estados acumulados no sistema após simulação determinística.	90
Quadro 2 - Estados da rede ao nível N1 de hierarquia.	126
Quadro 3 - Transições da rede ao nível N1 de hierarquia.	130
Quadro 4 – Transições compostas da rede ao nível N1 de hierarquia.	131
Quadro 5 - Estados da rede ao nível N2 de hierarquia.	135
Quadro 6 – Transições regulares da rede ao nível N2 de hierarquia.	143
Quadro 7 – Tempos de operação coletados em cada atividade.	152

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ERP – *Enterprise Resources Planning*

KPI's – *Key Performance Indicator*

MMC – Método de Monte Carlo

PCP – Planejamento e Controle da Produção

SED – Simulação de Eventos Discretos

TI – Tecnologia da Informação

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	PROCESSO DE PRODUÇÃO.....	23
2.1.	A INDÚSTRIA DE CONFECÇÃO	23
2.2.	ASPECTOS CARACTERÍSTICOS DA CONFECÇÃO DE ROUPAS.....	24
2.3.	A PRODUÇÃO NA CONFECÇÃO	25
2.4.	GESTÃO DO PROCESSO PRODUTIVO E SUAS ETAPAS.....	27
2.5.	PROCESSO DE COSTURA (MONTAGEM) NA EMPRESA ALFA.....	33
3.	REDES DE PETRI.....	40
3.1.	COMPONENTES DE UMA REDE DE PETRI.....	42
3.2.	ESTRUTURA DA REDE DE PETRI.....	46
3.3.	PROPRIEDADES COMPORTAMENTAIS.....	50
3.4.	PROPRIEDADES ESTRUTURAIS.....	54
3.5.	ESCOLHA DO <i>SOFTWARE</i> E DO <i>HARDWARE</i>	57
4.	MODELAGEM DO SISTEMA	60
4.1.	COLETA DE DADOS	64
4.2.	MODELAGEM QUALITATIVA DA REDE DE CONFECÇÃO.....	69
4.3.	MODELAGEM QUANTITATIVA DISCRETA	75
4.4.	ANÁLISE DO MODELO DA REDE DE PETRI	77
5.	SIMULAÇÃO, ANÁLISE E RESULTADOS	82

5.1.	CONVERSÃO ENTRE MODELOS	83
5.2.	SIMULAÇÃO DETERMINÍSTICA	84
5.3.	SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA	90
5.4.	CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO ESTOCÁSTICA.....	97
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	APÊNDICE I	123
	APÊNDICE II.....	125
	APÊNDICE III	133
	APÊNDICE IV	152

1. INTRODUÇÃO

O forte desenvolvimento da sociedade pós-industrial (ou sociedade do conhecimento) se consolidou como gerador de riqueza, apoiado pela evolução crescente dos recursos computacionais e pelos benefícios destas tecnologias da informática após a década de 50. Dessa forma, a coleta e o processamento de informações se converteram em fator diferencial na busca pelo sucesso das organizações empresariais em geral.

Esta evolução é creditada à área de Tecnologia da Informação (TI) que vem crescendo rapidamente nas últimas duas décadas, fomentando o desenvolvimento de todas as áreas das organizações empresariais em geral. Esse desenvolvimento tem contribuído para a otimização dos processos produtivos, elevando assim, o nível de serviços ao cliente (BALLOU, 2008; NEUMANN, 2013; SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON, 2009).

Visando esta otimização da produção, este trabalho tem como foco, o processo produtivo em uma indústria de confecção para a montagem de uma camisa do tipo gola polo, destacando toda sua estrutura e atividades envolvidas diretamente na sua construção. São apontados, através de técnicas de modelagem e simulação, a existência de gargalos ao longo da linha de produção, onde as redes de Petri se destacam como ferramenta para solucionar o problema de otimização modelando, analisando e simulando sistemas complexos¹ com alta capacidade de representação de atividades ou processos assíncronos e concorrentes.

Com os avanços tecnológicos, houve um desenvolvimento e a disseminação de ferramentas computacionais de simulação. Nesta linha de desenvolvimento da área de TI,

¹ Segundo LEITE (2004), sistemas complexos tem como características interações não-lineares, sujeitas às mudanças imprevisíveis do ambiente, formadas por muitas partes diferentes e apresentando situações de difícil gerenciamento.

destaca-se a consolidação de três classes básicas de simulação computacional: a Simulação de Monte Carlo (ou Método de Monte Carlo), a Simulação de Eventos Discretos e também a Simulação de Eventos Contínuos (CHWIF e MEDINA, 2010, p.25).

Para os autores, a Simulação de Monte Carlo (ou simulação estática) utiliza geradores de números aleatórios – para simular sistemas físicos ou matemáticos, nos quais não se considera o tempo explicitamente como uma variável. “Essa simulação é particularmente útil para a solução de problemas matemáticos complexos que surgem no Cálculo Integral, por exemplo” (CHWIF e MEDINA, 2010, p.25). Dentro da análise de processos produtivos, vários autores propuseram aplicações para solucionar problemas logísticos e de produção utilizando Método de Monte Carlo (NETO *et al.*, 2016; FAVARETTO e DROHOMERETSKI, 2011; MENEGARDE *et al.*, 2010; CHEN *et al.*, 2015).

Já a Simulação Contínua (também conhecida como Simulação de Sistemas Dinâmicos) é utilizada nos casos de modelagem de sistemas cujo comportamento varia continuamente no tempo. Um exemplo é o processo de fresagem de uma peça em um torno, ou a reação química entre dois ou mais produtos quando em contato ou o resfriamento de um líquido durante um determinado período de tempo. BARROS, SANTOS e MELO (2003) utilizaram simulação contínua para analisar a limitação de sistemas de produção em lotes de produtos líquidos, evitando assim, seu transbordamento em tanques-válvula.

Os eventos discretos são acontecimentos que levam em consideração as mudanças de estado do sistema ao longo do tempo (CHWIF e MEDINA, 2010, p.25). Assim, utiliza-se a SED (Simulação de Eventos Discretos) para modelar sistemas que, devido à ocorrência de eventos (fatos), têm seu estado ou condição alterada em algum momento

discreto do tempo. Sua aplicação é estendida a diversas áreas, com destaque para o uso em cadeias logísticas, onde a modelagem e simulação são utilizadas para estabelecer políticas de estocagem, transporte e distribuição. Ela considera todos os passos da cadeia logística desde a origem das matérias-primas, passando pelos processos de transformação dentro da produção, até a entrega do produto final ao consumidor de destino. Considerando um sistema de manufatura tipicamente industrial, os produtos são compostos basicamente por partes ou mesmo montados em partes. Dessa forma, o comportamento dos processos de transformação em lotes de algumas matérias-primas em produtos acabados é atribuído a eventos discretos (GU e BAHRI, 2002).

Vários autores propuseram SED (Simulação de Eventos Discretos) para a organização de processos produtivos, balanceamento de linhas de produção e otimização de capacidade produtiva em empresas de diversos setores, como mineração e confecção (BEVILACQUA *et al.*, 2013; BLACK e SCHROER, 1993; ERYURUK, KALAOGLU e BASKAK, 2008; GÜNER e ÜNAL, 2008; PEREIRA *et al.*, 2010).

É relevante ressaltar que estes conceitos e técnicas de modelagem e simulação já são consagrados em vários ramos da atividade industrial, geralmente onde os produtos possuem alto valor agregado (AALST, 1994; BOZEK, 2012; JUNQUEIRA e MIYAGI, 2009; MACIEL, LINS e CUNHA, 1996; MAZIERO, 1990; PALOMINO, 1995, 1997 e 2001; SANTANA-ROBLES *et al.*, 2012; SANTOS, 2008; ZURAWSKI e ZHOU, 1994). Outra característica que destaca a importância do uso dos métodos de modelagem e simulação para análise, avaliação e melhoria dos processos produtivos, é o fato de ser possível realizar um planejamento sem intervenções diretas, impactantes e/ou equivocadas na linha de produção real, o que poderia causar sérios prejuízos financeiros às empresas (YAMADA, PORTO e INAMASU, 2002).

Dentro da indústria da confecção de vestuário (roupas), os fluxos produtivos apresentam, com frequência, um comportamento marcado pela ocorrência de eventos ao longo do tempo em relação às atividades e estágios. Assim, a técnica de modelagem e simulação de eventos discretos apresenta-se como uma ferramenta relevante para a pesquisa, em razão de sua capacidade de analisar estes sistemas de produção, pois apresentam tais características e geralmente são modelados utilizando-se de técnicas como Teoria de Filas, Cadeias Markovianas ou redes de Petri, (CAO e HO, 1991 e 1992 *apud* MIYAGI, MIYAGI e KISIL, 2002).

São vários os exemplos da utilização destes diversos formalismos e técnicas para a avaliação e melhorias nos fluxos de processos produtivos, utilizando modelagem e/ou simulação em diversas empresas, sejam elas industriais ou não. Estudos com Teoria de Filas foram realizados para promover melhorias nos fluxos de atendimento em agências bancárias, lotéricas, ou em praças de pedágio (DE LIMA *et al.*, 2016; PISSINELLI *et al.*, 2015; SIQUEIRA *et al.*, 2015). Através dos trabalhos pautados por cadeias de Markov, pesquisadores propuseram melhorias na redução de filas em operações diversas (MARINHO, 2006; SAMPAIO e OLIVEIRA, 2013), e também para aumento de capacidade produtiva industrial (SANTORO e MORAES, 2000; STAUDT, COELHO e GONÇALVES, 2011).

As redes de Petri se apresentam como fator de vantagem, pois “é um formalismo operacional adequado para descrever como um sistema trabalha” (AALST, 2000; *apud* BLOS, 2016). Ainda de acordo com o autor, o formalismo das Redes de Petri apresenta uma semântica formal com natureza gráfica, auxiliando na resolução de conflitos de interpretação em casos trabalhados com procedimentos comuns. Trata-se de um formalismo baseado em estados e transições ao invés de eventos. Além disso, possui uma

diversidade de ferramentas de modelagem, as quais permitem avaliar e validar uma enorme gama de situações, principalmente as mais complexas (BLOS, 2016).

Sendo assim, além dos estudos específicos que se valeram destes formalismos para avaliação e melhorias nos fluxos de processos produtivos, MURATA (1989) e ZURAWSKI e ZHOU (1994) listam uma série de estudos apontando aspectos teóricos e as vantagens da aplicação das redes de Petri, inclusive exemplificando onde seu uso foi, ou pode ser implementado com sucesso, seja na área acadêmica ou especificamente no meio industrial.

KAID *et al.* (2015) faz uma ampla revisão do uso de redes de Petri em sistemas de manufatura e conclui que a maior utilização da técnica das redes de Petri é no campo de controle, especialmente na prevenção de *deadlocks* que, segundo o autor, são situações de impasse onde dois ou mais processos ficam bloqueados (estado de espera) aguardando as execuções de um evento ou recurso que só pode ocorrer por um dos processos em bloqueio.

AALST (1994) trabalhou redesenho de logística e manufatura, onde as redes de Petri estendidas com cores, tempo e hierarquia proporcionaram uma estrutura integrada para modelagem e análise da logística e dos sistemas de manufatura. O autor atesta ainda a boa adequação da técnica aos fluxos de mercadorias, recursos e informações de forma unificada. Também BOZĚK (2012) apresenta as vantagens e desvantagens do uso de redes de Petri hierárquica, colorida e temporal (HTCPN) na modelagem e programação da produção de sistemas.

LONG, ZEILER e BERTSCHE (2015) comparam redes de Petri com diversos outros formalismos, incluindo cadeias de Markov, para apontar a superioridade das redes

de Petri na modelagem dos aspectos de uma **indústria 4.0**², em termos de identificação e localização dos componentes e produtos, e também de logística na organização e controle dos processos ao longo do sistema. Também em LONG e ZEILER (2016), foi aplicado o formalismo de redes de Petri estendida, colorida e estocástica (ECSPN) para modelar sistemas de produção em **indústrias 4.0** e sua disponibilidade, obtendo como resultado a confirmação de que interações entre produtividade e disponibilidade de máquina e auto-organização (baseada em inteligência artificial) podem ser modeladas por esta técnica.

GU e BAHRI (2002) também se utilizaram de um levantamento do tipo *survey* para apontar as aplicações do uso de redes de Petri em processos em indústrias que se valem de produção em lotes, ratificado o uso do formalismo como vantagem na modelagem e análise qualitativa e quantitativa, planejamento e programação de ciclo de vida destes processos.

Mais especificamente na área da indústria têxtil ou da confecção, temos os estudos de BARAD (2016) que realiza uma comparação entre simulação baseada no formalismo de redes de Petri temporizadas (TPN) e a simulação com o uso do *software* ARENA® baseado na linguagem SIMAN V, para confirmar a TPN como uma estrutura versátil para modelagem e avaliação de desempenho de sistemas, além de atestar as vantagens como método de simulação no planejamento dos lotes.

Na mesma linha de pesquisa, BLAGA *et al.* (2013) utiliza o *software* Visual Object Net++ para ratificar a eficiência do uso de redes de Petri temporizadas (TPN) na avaliação de desempenho de três linhas de produção distintas com dados de três produtos diferentes.

² Também chamado de Quarta Revolução Industrial, é um termo utilizado pela primeira vez durante a feira Hannover/Alemanha que se traduz em um conjunto de tecnologias utilizadas na indústria, para completa descentralização do controle dos processos produtivos ao longo de toda a cadeia de produção e logística. Baseia-se na proliferação de dispositivos inteligentes interconectados, automação, interoperabilidade e troca de dados entre esses dispositivos e sistemas, elementos computacionais colaborativos, internet das coisas e computação em nuvem. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>. Acessado em: 07 de fevereiro de 2018.

Foram geradas simulações durante um período de trabalho de 8 horas de trabalho, utilizando como base os tempos médios de produção de cada operação de montagem dos produtos. Assim, os autores chegaram à identificação dos gargalos e a estimação do número de colaboradores necessários para liberação das linhas de costura em uma indústria de confecção.

ARANTES (2006) se valeu de redes de Petri temporal auxiliado pela ferramenta acadêmica Petri Net Analyser³ versão 2.0, para realizar modelagem e simulação de uma linha de montagem de botas infantis, comparando dados extraídos de duas empresas distintas do ramo calçadista, de fabricantes de um modelo de produto semelhante. Esta pesquisa teve por objetivo, levantar os pontos de gargalo ao longo da linha de montagem, destacando os atrasos nos tempos de produção. Vale ressaltar que neste estudo, foram simulados apenas dois cenários, onde foram inseridos dados de tempo de processos de apenas um dos produtos manufaturados e que algumas partes do produto adentram ao modelo previamente montados. Ao final, o trabalho se limitou a simular apenas dois cenários. Um cenário com uma unidade e o outro com um lote de cinco unidades produzidas.

Outra variação das redes de Petri temporizadas é utilizada por WANG *et al.* (2017), que trabalha modelagem com redes de Petri de “estados temporizados” (*Timed Place Petri Net* - TPPN) apoiados pelo *software* MATLAB para aprimorar o grau de flexibilidade e eficiência de uma unidade de produção de roupas em pequenos lotes, abastecida por um sistema de monotrilha suspenso mecanizado. Nesta pesquisa, visando resolver os

³ Desenvolvido pelo Centro de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná no Laboratório de Sistemas Inteligentes de Produção da mesma Universidade.

problemas de finalização de tarefas em cada processo com o menor tempo, um algoritmo de otimização da produção é executado gerando quatro alternativas possíveis.

SANTANA-ROBLES *et al.* (2012) descreve os processos de modelagem e simulação de uma cadeia de suprimentos têxtil utilizando redes de Petri coloridas baseado na ferramenta CPN Tools. Neste estudo, os autores comprovam a técnica como meio de conhecer o desempenho da empresa estudada como parte de sua cadeia de abastecimento, nos quesitos reflexos do abastecimento dos fornecedores no atendimento dos clientes, volumes de estoques nos processos de manufatura e a importância do compartilhamento das informações junto aos membros da cadeia na busca pela redução das incertezas.

Portanto, esta pesquisa se destaca daquelas, anteriormente citadas e trabalhadas junto ao ramo têxtil ou da confecção, por aplicar especificamente a uma indústria de confecções de roupas, conceitos e técnicas de modelagem e simulação utilizando redes de Petri, já consagradas também em outros ramos, na tentativa de solucionar problemas característicos da indústria de confecção de vestuário. Além disso, vale ressaltar que, ao contrário do trabalho de BARAD (2016), esta pesquisa se apoiou em dados reais coletados junto a uma empresa local e todas as estações de trabalho da linha de montagem do produto final foram avaliados individualmente.

Diferente de BLAGA *et al.* (2013), que trabalhou com foco na simulação de três produtos (jaqueta, saia e calça) com estruturas e tempos de confecção completamente distintos montados em três linhas de produção em série, neste trabalho optou-se por modelar com profundidade o fluxo de montagem de apenas um único produto (camisa gola polo), considerando dados reais, coletados em uma empresa de confecção. Para tanto, foi considerado uma única linha de montagem em lotes e implementado um modelo em redes de Petri – considerando inclusive a hierarquia da rede – para então, passar à fase da

simulação. Além disso, foram considerados na modelagem e simulação, as situações de concorrência, conflito, assincronia e paralelismo, o que não foi destacado no trabalho comparado.

Este estudo se difere do trabalho de ARANTES (2006) por observar um único produto em uma única empresa e considerar que todas as partes do produto modelado e simulado serão transformadas desde seu estágio inicial como matéria-prima.

Comparado ao trabalho de WANG *et al.* (2017) que focou a pesquisa na produção multivariada com pequenos lotes, onde foram consideradas apenas as quantidades produzidas, este estudo trata da produção de um único produto independente do tamanho do lote a ser produzido. Para a realização da modelagem quantitativa, tanto o tempo de execução das tarefas quanto as quantidades manufaturadas em cada estação ao longo da produção serão consideradas para efeito de simulação.

Por último, diferente da pesquisa de SANTANA-ROBLES *et al.* (2012) que produziu um modelo e simulou o fluxo da cadeia de suprimentos do ramo têxtil, este estudo observou detalhadamente o fluxo das matérias-primas dentro de cada processo ao longo do setor de produção de uma empresa de confecção de vestuário, até sua transformação em produto final acabado.

Assim, o presente estudo faz uso do formalismo das redes de Petri como ferramenta para modelagem e simulação de sistemas, com foco em um processo de costura e montagem de uma camisa gola polo. Utiliza-se como base, dados e alguns indicadores da produção, levantados junto ao setor de PCP e diretamente junto à linha de produção de uma empresa de confecção de roupas masculinas para adultos que, nesta pesquisa, será

chamada Alfa⁴. O objetivo é atestar a eficiência do uso do formalismo de redes de Petri para modelar e simular cenários de produção dentro de uma indústria de confecções, respondendo se é possível cumprir com os prazos contratados nos pedidos de seus clientes. Com isso, a empresa poderá alcançar níveis de serviço mais eficientes e otimizar o processo produtivo.

Esse trabalho está organizado em 6 capítulos. No Capítulo 2 apresenta-se o histórico e importância do setor, além do processo produtivo dentro de uma indústria de confecção, sua estrutura, etapas e fases desde a geração da ideia do produto até sua expedição ao cliente final. No Capítulo 3 é abordada a teoria das redes de Petri com suas vantagens em comparação a outros formalismos utilizados em pesquisas acadêmicas, seus componentes principais, suas propriedades estruturais e comportamentais de funcionamento, tipos e modelos. No Capítulo 4 é apresentada a elaboração do modelo conceitual de simulação com base nas informações levantadas junto à empresa, foco do estudo, além da coleta e análise dos dados junto à produção. No capítulo 5 a simulação, a análise dos dados e os resultados gerados (bem como os cenários propostos) são apresentados. Finalmente, no Capítulo 6 são apresentadas as conclusões, com algumas sugestões de melhorias propostas junto à empresa, além de discutidas ideias que podem provocar novas pesquisas no futuro.

⁴ A empresa concordou em ceder dados sobre seu processo produtivo sob a condição de sigilo de suas informações estratégicas tais como nome, endereço, faturamento, clientes, etc.

2. PROCESSO DE PRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma síntese da evolução histórica do ramo da confecção, sua importância dentro do panorama econômico do setor, os conceitos que definem os processos produtivos específicos dentro de uma indústria do ramo de confecção de vestuário, bem como sua correta sequência, objetivando a melhor compreensão do modelo que será objeto de estudo desta pesquisa.

2.1. A Indústria de Confecção

No Brasil, coube à indústria têxtil o início do processo de industrialização entre os séculos XIV e XIX (MELO et al., 2007). Entre 1829 e 1925, do ponto de vista estrutural houve evolução na agilidade do processo de fabricação com a invenção da máquina de costura em 1829 e sua motorização elétrica por volta de 1921. Do ponto de vista científico, a divisão do trabalho (Administração Científica de Frederic W. Taylor) gerou ganhos significativos de produtividade à indústria (ABRANCHES e BRASILEIRO JUNIOR, 1996; JONES, 2005). Atualmente, o setor passa por fortes mudanças iniciadas na abertura às importações nos anos 90 e perduram com a crescente invasão de produtos asiáticos, especialmente os chineses (FUJITA e JORENTE, 2015).

É uma indústria altamente dependente de mão de obra e alvo de forte concorrência interna e externa, o que a leva a utilizar a diversificação como estratégia de vendas para se diferenciar e garantir mercado. Esta dependência de mão de obra é fruto da dificuldade de automação do seu principal processo produtivo: a costura (montagem das peças). Esta atividade pouco se desenvolveu desde a criação da primeira máquina de costura no final do

século XIX. Apesar da evolução mecânica e eletrônica e também da especialização das máquinas de costura, o trabalho de costura ainda é executado com forte dependência da intervenção manual do operador aproximando-o ao nível de trabalho artesanal e, geralmente, apresenta o desafio de implantação de controles, padronização, tempos de execução dos processos e de garantia dos prazos de entrega (BASTOS, 1993). Além do mais, estatisticamente este ramo da indústria é formado predominantemente por micro e pequenas empresas que operam, em muitos casos, à margem dos conceitos da Administração, enquanto ciência.

Para enfrentar a concorrência e garantir sua participação no mercado, muitas empresas adotam a diferenciação dos produtos como estratégia. O portfólio de produtos se expande expressivamente gerando, como consequência, o aumento no número de atividades e processos dentro do setor da produção. Adicional à dependência de mão de obra de baixa tecnicidade, esta diferenciação se converte em comprometimento dos prazos de entrega dos pedidos aos clientes.

2.2. Aspectos característicos da confecção de roupas

A cadeia produtiva do seguimento da indústria têxtil e confecções é bastante ampla e marcada por uma forte heterogeneidade. Um fluxograma da cadeia produtiva é apresentado na Figura 1. Neste fluxograma, é possível observar a operação das indústrias do segmento têxtil, considerado um setor de primeira transformação, trabalhando com o beneficiamento de fibras naturais, fiação e tecelagem oriundas dos setores da agricultura, silvicultura e pecuária, que serão utilizadas como matérias-primas para os demais elos desta cadeia. No campo intermediário, estão as indústrias que produzem artefatos têxteis (incluem produtos

de cama, mesa, lar e banho), tecidos planos e de malhas (artigos técnicos como sacaria, encerados, fraldas, produtos para a linha automotiva, tricotagem, meias, etc.) tendo como fornecedores as indústrias têxteis anteriormente citadas. Na ponta da cadeia produtiva deste seguimento estão as indústrias do vestuário – setor no qual se posiciona o foco desta pesquisa – que abastecem os consumidores finais com a confecção de roupas e acessórios (ABDI, 2009; ABIT, 2015).

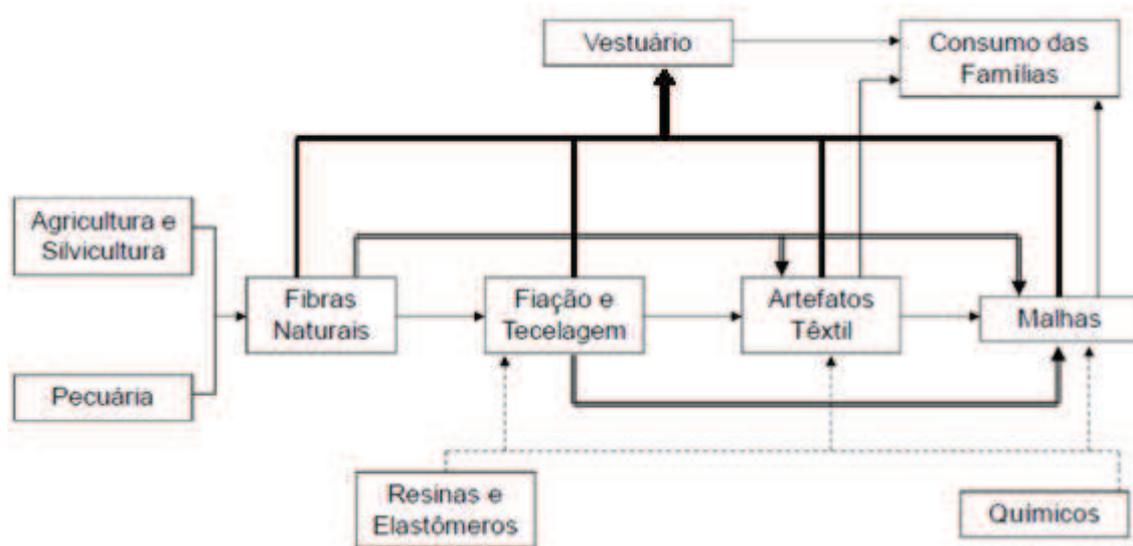


Figura 1 - Fluxo produtivo da cadeia têxtil e de vestuário.

Fonte: Adaptado de ABDI (2009).

2.3. A produção na Confeção

De acordo com CHIAVENATO (2005) o processo de produção é a transformação de matérias-primas, materiais e informações em produtos acabados ou serviços prestados. Ainda segundo os autores, em linhas gerais, o ramo da indústria de confecções se enquadra dentro da categoria de processo de produção em Lotes, Intermitente ou Bateladas, onde cada item é produzido em uma quantidade e por períodos de tempo consideravelmente médio para que a linha trabalhe de forma ininterrupta, com atividades padronizadas e seguindo rotas previsíveis a cada estágio da linha de produção. NEUMANN (2013) reforça

que a configuração em lotes aproveita de forma mais eficiente, as configurações dos *setups* das máquinas dispostas ao longo do fluxo produtivo.

Outro ponto relevante e que opera diretamente para a agilidade e eficiência dos fluxos produtivos é a forma que as instalações produtivas são/estão configuradas. A esta configuração dá-se o nome de *layout* e podem ser montadas conforme o arranjo das máquinas, das posições das áreas ou departamentos relacionadas à produção, seus locais ou suas conexões, podendo considerar os turnos de trabalho, as quantidades produzidas e os tipos de máquinas que compõem seu parque fabril (NEUMANN, 2013). Um *layout* bem definido e compacto é capaz de reduzir as distâncias percorridas pelos colaboradores e pelas mercadorias, sejam elas matérias-primas ou produtos em processo de fabricação, melhora o fluxo de informações e aumenta a flexibilidade da produção em casos de mudanças (LIDÓRIO, 2008).

2.4. Gestão do processo produtivo e suas etapas

A gestão do processo produtivo dentro de uma confecção pode ser compreendida como a forma de coordenar todas as diversas atividades de maneira integrada, visando à máxima produtividade do negócio como um todo.

Ainda segundo BIERMANN (2007), o processo produtivo no ramo da indústria da confecção é, em resumo, uma sequência de operações que tem seu início na área de planejamento de uma coleção, seguida do desenvolvimento do produto e passando pela complexa linha de produção, até sua liberação ao cliente final via expedição.

Basicamente, o processo de confecção de uma peça de roupa segue o seguinte fluxo:

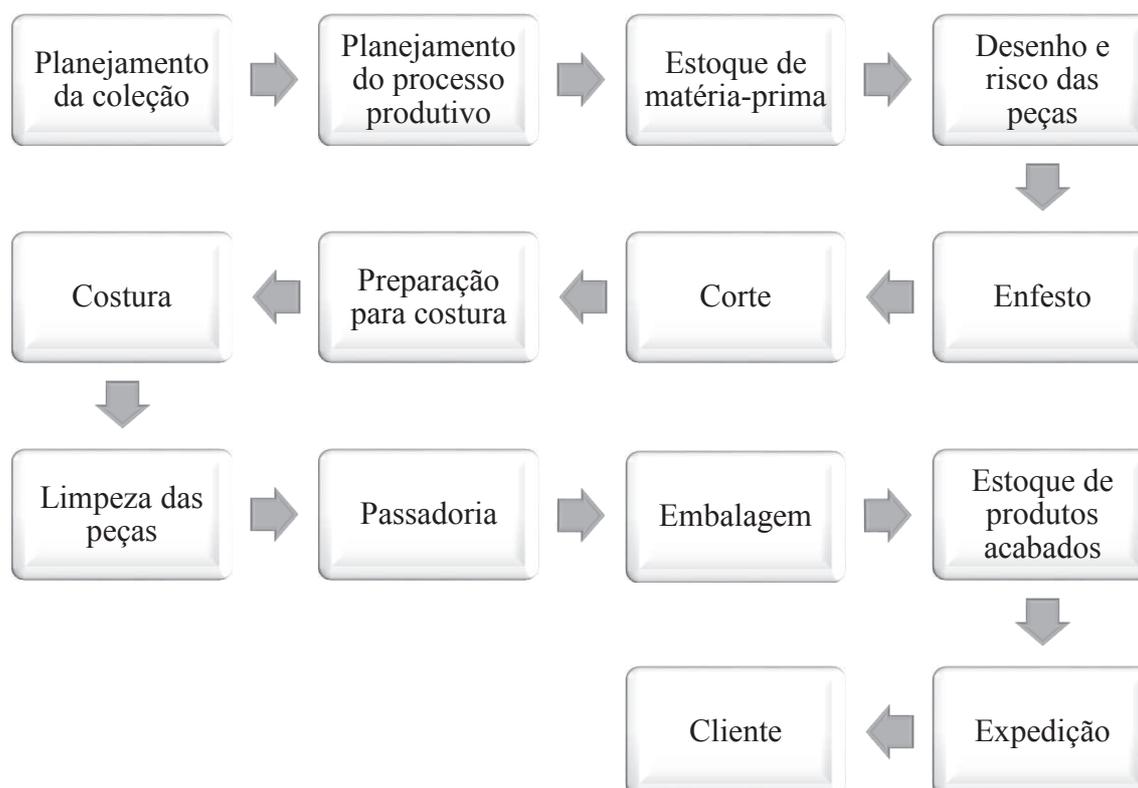


Figura 2 - Etapas de produção para confecções.

Fonte: Adaptado de BIERMANN (2007).

- **Planejamento da coleção**

O planejamento da coleção leva em conta as informações de mercado (demanda e tendências), a capacidade de produção (própria e terceirizada) e o *mix* de produtos a serem disponibilizados ao mercado, para balizar a criação, orientar o design, determinar a modelagem e estabelecer o padrão de qualidade a ser observado pela produção. Nesta etapa inicial, são definidos vários pontos importantes, tais como: a ideia do produto, o design, a modelagem (dimensões e grade⁵ de tamanhos), as etiquetas (informações legais), a peça piloto, o preço de venda e principalmente a ficha técnica, que indicará as informações como quais os procedimentos necessários para a confecção dos itens, a sequência de montagem das peças, composição dos materiais e quantidades utilizadas em cada produto, além do tempo de operação em cada etapa dentro da linha de produção.

- **Planejamento do processo produtivo**

O objetivo é maximizar a capacidade produtiva conforme as referências em cada lote de produto e de acordo com a disponibilidade de matéria-prima. Neste caso, os lotes serão escalonados na linha de produção conforme o cronograma de entrega dos pedidos aos clientes.

A equipe do PCP gera as ordens de produção (que na empresa Alfa são chamadas ordens de corte) que são direcionadas à produção (setor de costura) e também emite as

⁵ A grade de tamanhos é um plano definido por cada empresa e significa o conjunto de tamanhos das peças (Exemplo: PP, P, M, G e GG) com as respectivas medidas em centímetros e com as quantidades proporcionais a serem produzidas em cada tamanho de cada modelo de peça. Disponível em: [http://www.audaces.com/encaixe-da-modelagem-etapa-essencial-nas-confecoes/#!](http://www.audaces.com/encaixe-da-modelagem-etapa-essencial-nas-confecoes/) Acessado em: 07 de fevereiro de 2018..

requisições de materiais que são encaminhadas ao estoque para separação dos tecidos, aviamentos e acessórios ou ao setor de compras para que o suprimento de matéria-prima seja providenciado.

- **Estoque de matéria-prima**

O estoque de matéria-prima envolve a armazenagem de tecidos, aviamentos e acessórios que serão utilizados na confecção dos lotes, além dos insumos de produção. Para o dimensionamento dos volumes de estoque, são considerados os tempos de produção solicitados pelos fornecedores e seus respectivos tempos de entrega após o despacho via transportadores.

- **Desenho e risco das peças**

A etapa do desenho e risco das peças determinará, em grande parte, a redução do custo de produção, uma vez que, quanto melhor for o encaixe da modelagem, melhor será o aproveitamento dos tecidos utilizados para a montagem das peças, evitando-se o desperdício de matéria-prima.

Tendo em mãos os moldes – peças em papel (geralmente papel *kraft*⁶) com os formatos e as medidas de cada uma das peças que vão compor o produto final – o operador fará uma cópia riscando as medidas destes moldes diretamente no tecido, para em seguida recortá-lo.

Visando melhorar esta etapa do processo produtivo, algumas empresas já adotam a modelagem específica para geração dos moldes de corte para produção de vestuário

⁶ Papel puro sem contaminação (não reciclado) fabricado diretamente de fibras de celulose 100% virgens de pinus e eucalipto com gramaturas variando de 40 a 300gr/m², comercializado nas versões Natural sem brilho e Monolúcido com brilho em um dos lados. Disponível em: www.klabin.com.br. Acessado em 09 de fevereiro de 2018.

utilizando softwares que se encarregam de determinar qual a melhor combinação dos diversos moldes, maximizando assim, a quantidade de peças por metro quadrado de tecido (BIERMANN, 2007).

- **Enfesto**

O enfesto consiste em sobrepor várias camadas estendidas do tecido a ser utilizado sob uma superfície plana (mesa de corte) de forma que fiquem alinhadas e planas. O objetivo desta técnica é facilitar o corte de uma grande quantidade de peças e dar a elas as mesmas dimensões das matrizes geradas na modelagem.

A quantidade de camadas dependerá da quantidade de peças solicitadas pelo planejamento da coleção. Este processo poderá ser manual ou automatizado utilizando-se de máquinas para a disposição dos rolos de tecido sob a mesa de corte.

- **Corte**

Logo após o enfesto, inicia-se o corte das peças copiadas através dos moldes. Este processo poderá ser realizado manualmente utilizando tesouras ou, nos casos de grandes volumes, máquinas elétricas do tipo faca vertical ou serra circular, próprias para o corte de tecido.

Para os grandes projetos industriais onde há a necessidade de ganhos em escala, existem máquinas de última geração que operam com navalhas automatizadas via computador que conferem maior produtividade, rapidez e qualidade nas operações de corte.

- **Preparação para costura**

Neste ponto, o operador de costura deverá estar de posse de todas as peças já cortadas que irão compor o produto, além dos aviamentos, acessórios e insumos necessários para que o processo de costura possa ser realizado sem interrupção. Vale destacar que, para garantir elevados níveis de produtividade sem interrupções desnecessárias, os operadores de costura trabalham exclusivamente na operação das máquinas. Para as operações de suprimentos, as células da costura dispõem de colaboradoras com funções exclusivas de distribuição e abastecimento de matéria-prima e insumos aos operadores, conforme descrito adiante.

- **Costura**

Em se tratando da principal etapa do processo produtivo e que envolve grande número de máquinas além de uso intensivo de mão de obra qualificada, naturalmente a costura tende a se tornar o maior gargalo em uma linha de produção do ramo de confecção de roupas. Neste ponto, o operador realiza a união das peças cortadas conforme as ordens de produção e a ficha técnica, realizando a montagem do produto final.

- **Limpeza das peças**

Esta etapa funciona também como um centro de avaliação e controle da qualidade, pois nela, são retirados os fios remanescentes dos processos produtivos anteriores e são verificadas as condições do produto final. Caso a peça esteja exatamente de acordo com a peça piloto, o produto é liberado para comercialização e segue para a etapa seguinte.

- **Passadoria**

Durante o processo produtivo, algumas peças poderão sofrer amassamento, seja pelo manuseio manual ou mesmo pela operação das máquinas. Nesta fase da linha de produção, estes “defeitos” são corrigidos para que o produto final esteja apto ao mercado.

- **Embalagem**

Neste ponto, o produto final recebe uma embalagem que visa protegê-lo de sujidades, conferir uma melhor aparência visual ao mesmo, além de promover a marca junto ao mercado.

- **Estoque dos produtos acabados**

Este é o local onde os produtos finalizados ficam aguardando a consolidação dos pedidos de clientes, para que então sejam despachados ao destino final.

Aqui, o ideal é que as empresas tenham o menor volume possível em estoque, pois a indústria da confecção trabalha com um produto com características voláteis e o risco de obsolescência é alto.

- **Expedição**

A separação dos produtos conforme os pedidos dos clientes, segundo as referências, grades de tamanho, cores e modelos, fica a cargo do setor de expedição e será tanto mais fácil,

quanto forem organizados os processos de corte e costura anteriormente citados, pois sua ordem e sequência de entrada na linha de montagem (costura) influenciará o tempo de atendimento dos pedidos dos clientes.

O cumprimento dos prazos assumidos junto aos clientes pode refletir diretamente no aumento do volume de vendas e na consequente melhora da rentabilidade do negócio.

2.5. Processo de costura (montagem) na empresa Alfa

Para uma maior compreensão do fluxo produtivo específico dentro de uma indústria de confecção de roupas, que se encontra na ponta da cadeia produtiva, ao longo desta pesquisa serão apontados especificamente dados levantados sobre os processos envolvidos na produção de vestuário da empresa Alfa. A Figura 3 apresenta um modelo de camisa masculina adulto do tipo gola polo escolhido para esta pesquisa.

São enumeradas na Figura 3 as partes que compõem o produto final, onde a peça 1 corresponde à Frente da camisa e a peça 2 às Costas da camisa; a peça 3 corresponde à Frente da manga enquanto a peça 4 às Costas da manga; a peça 5 corresponde ao Pé da gola enquanto a peça 6 à Cabeça da gola; a peça 7 e a peça 8 correspondem respectivamente ao Peitilho externo do *patch* e ao Peitilho interno do *patch*; a peça 9 corresponde à Entretela de *patch*; as peças 10 e 11 correspondem respectivamente à Entretela da cabeça da gola e Entretela do pé da gola; a peça 12 corresponde ao Forro revel; já as peças 13, 14 e 15 correspondem respectivamente à Etiqueta de logomarca, à Etiqueta de tamanho e à Etiqueta de composição; a peça 16 corresponde ao Galão decorativo do *patch*; a peça 17 é correspondente ao Viés/Cordão da abertura lateral; já as peças 18 e 19 correspondem respectivamente aos Botões e à Placa de metal.



Figura 3 - Layout do produto Camisa Gola Polo e as suas 19 partes enumeradas.

Sua escolha foi motivada por se tratar de um produto de grande demanda e alto grau de personalização com o envolvimento de vários processos e recursos (mão de obra e máquinas) ao longo de sua montagem. A pesquisa contempla apenas o setor de costura por ser a área da empresa onde o uso de mão de obra é realizado em maior intensidade e onde ocorrem os maiores congestionamentos de lotes de produtos em processo de produção.

O layout celular, onde as máquinas e mão de obra da empresa Alfa operam, está distribuído ocupando uma área de aproximadamente 100m², conforme a Figura 4.

SETOR DE COSTURA - ESTAÇÕES DO PROCESSO DE MONTAGEM					
CÉLULA 6 – CONFERÊNCIA e ACABAMENTO Tirar linhas, Abotoar os botões e dobrar a Gola (2 Colaboradoras)			CÉLULA 2 – GOLAS Montagem e Fechamento das Golas 1 Máq. Refiladeira 3 Máq. Costura Reta 3 Costureiras 1 Distribuidora	CÉLULA 1 – ENTRADA + ENTRETELA Recepção, Conferência e Distribuição dos Kits (Tecidos, Aviamentos e Acessórios) + Preparação das Entretelas (<i>Patch</i> e Gola) 3 Máq. Fusioneiras 2 Colaboradoras	
CÉLULA 5 – CASEADO / BOTÃO Costura do caseado, botões e da placa 3 Máq. Caseadeiras 3 Máq. Botoneira 1 Máq. p/Travete (Igreja) 1 Máq. p/Placas 8 Costureiras 2 Colaboradoras p/marcação dos botões 2 Distribuidoras	CÉLULA 4 – COSTURA Montagem da camisa (Frente, Costa, Gola, Mangas, Igreja, Barra) 3 Máq. Costura Overlock 4 Máq. Costura Reta 1 Máq. Galoneira 8 Costureiras 1 Distribuidora 1 Revisora	CÉLULA 3 – PATCH/ REVEL Montagem do <i>Patch</i> e do Forro Revel 1 Máq. Costura Nippon 9 Máq. Costura Reta 1 Máq. Filigran 10 Costureiras 1 Distribuidora 1 Revisora			
ENCARREGADA DA COSTURA / 3 SUPERVISORAS					

Figura 4 - Setor de costura da empresa Alfa e a disposição de suas células.

Ao todo, o setor de costura da empresa realiza atividades em seis células assim distribuídas:

- **Célula 1**

É a célula responsável por dois processos iniciais: De um lado é realizada a operação chamada de ENTRADA onde são recebidas as matérias-primas originadas dos setores de corte e do estoque (lotes de kits formados pelas peças de tecido já cortadas, os aviamentos e acessórios) que serão distribuídos entre as demais células para início das montagens dos produtos finais. Nela, 2 colaboradoras recebem as peças tendo como origem o setor de corte – nos casos das partes em tecido (frente, costas, frente da manga, costa da manga, pé de gola, cabeça de gola, peitilho externo do *patch* e peitilho interno do *patch*) – ou diretamente do estoque, para os aviamentos (entretelas de *patch*, da cabeça da gola, do pé da gola, etiquetas de logomarca, de tamanho e de composição, galão decorativo do *patch*, viés/cordão da abertura lateral e botões) e acessórios (placas de metal).

Nos dois casos, as peças passam por uma inspeção prévia de qualidade, têm suas quantidades conferidas, são identificadas e separadas para, então, serem distribuídas entre as devidas células conforme determinam as ordens de produção. Por outro lado, é realizada a operação de preparação das ENTRETELAS⁷ onde estas são fundidas com partes do tecido para a estruturação da gola e do *patch*, utilizando 3 máquinas fusionadeiras de esteira e uma prensa para as operações;

- **Célula 2**

Nesta célula são montadas e fechadas as GOLAS (compostas por 2 partes: cabeças de gola e pés de gola), observada no detalhe da Figura 5. Os trabalhos de costura são realizados com 2 máquinas de costura refiladeira e 3 máquinas de costura reta operadas por 3 costureiras que contam com o auxílio de 1 colaboradora que realiza as operações de desdobra das golas, revisão das peças e distribuição das golas prontas às células subsequentes;

⁷ A entretela é um material aplicado no tecido para encorpar e estruturar uma peça. É um aviamento que tem diversas variações, tanto de materiais como de espessura. As entretelas podem ser de algodão, TNT, viscose, lã ou malha, finas ou grossas, com cola e sem cola. Disponível em: <http://www.audaces.com/o-que-e-entretela-de-roupa/>. Acessado em: 07 de fevereiro de 2018.



Figura 5 - Camisa gola polo com detalhe da composição da Gola.

- **Célula 3**

É a célula de montagem do *PATCH* (também chamado *pate* ou *paty*). Uma vez estruturado com entretela na célula 1, o *patch* será encaminhado para esta célula para ser montado, receber o galão decorativo e costurado à parte da frente da camisa gola polo formando o peitilho. Também é nesta célula que as etiquetas com a logomarca da empresa e de tamanho da camisa são costuradas ao forro REVEL e este, por sua vez é costurado na parte das costas da camisa, conforme detalhes da Figura 6. Nesta célula são utilizadas 9 máquinas de costura reta e 1 máquina de costura filigrana que são operadas por 10 costureiras com o auxílio de 1 distribuidora. Uma vez produzidas, as peças passam pelo crivo de 1 revisora antes de serem enviadas à próxima célula;



Figura 6 - Detalhe da composição do forro revel com etiquetas e do peitilho com *patch*.

- **Célula 4**

É a célula da COSTURA geral onde ocorre a maior parte das operações de montagem das peças que dão forma à camisa gola polo, já demonstradas na Figura 4. Nesta célula são costuradas as peças frente, costas, gola, mangas, barra e acabada a abertura lateral da barra. A mão de obra é formada por um time composto por 8 costureiras que trabalham utilizando 4 máquinas do tipo costura reta, 3 máquinas de costura overloque e 1 máquina do tipo galoneira e recebem o auxílio de uma distribuidora. Aqui também, depois de produzidas, as peças passam pelo crivo de 1 revisora para serem enviadas à próxima célula;

- **Célula 5**

É uma célula mais específica para finalização dos produtos onde é feito o CASEADO, a colocação de BOTÃO e da placa de metal, conforme Figura 7. Aqui, trabalha-se com 3 máquinas de costura do tipo caseadeira, 3 máquinas de costura botoneiras para colocação de botões, 1 máquina do tipo travete e 1 máquina do tipo botoneira específica para fixar

etiquetas de metal. Nesta célula trabalham 8 costureiras, 2 auxiliares para marcação dos botões e 2 distribuidoras;



Figura 7 - Camisa gola polo com detalhe das casas, botões e placa de metal.

- **Célula 6**

É a estação final da linha de montagem dos produtos encarregada pela fase de checagem para CONFERÊNCIA e ACABAMENTO, realizando um controle de qualidade prévio. Nesta célula trabalham 2 auxiliares realizando o acabamento das peças, retirada de linhas excedentes, abotoando as camisas e dobrando as golas, deixando o produto finalizado.

A partir deste ponto, o processo de manufatura da camisa gola polo já está finalizado e o produto está preparado para ser levado ao estoque de produtos acabados ou ao setor de expedição.

3. REDES DE PETRI

A teoria das redes de Petri é definida como um formalismo de modelagem baseada em grafo, utilizada para modelagem matemática de sistemas complexos. Este formalismo, de forte apelo gráfico, utiliza como alicerce uma sólida base matemática e é bastante adequado nos casos de estudos de sistemas complexos com características de elementos concorrentes, conflitantes, paralelos, assíncronos, distribuídos e estocásticos. Segundo MURATA (1989), é uma ferramenta de modelagem matemática e gráfica aplicável a vários tipos de sistemas, com a vantagem de descrever com clareza a dinâmica das interações entre os processos que integram um SED (Sistema a Eventos Discretos). Ainda, segundo (DEL FOYO, 2001 apud SANTOS, 2008, p.31), presta-se à otimização, análise, simulação e validação de sistemas dinâmicos a eventos discretos e também de eventos contínuos.

Sua teoria inicial foi apresentada por Carl Adam Petri no ano de 1962, em razão de sua tese de doutorado intitulada *Kommunikation mit automaten* (Comunicação com autômatos) pela faculdade de Matemática e Física da Universidade de Darmstadt na Alemanha. Em sua tese, Petri formulou as bases da teoria para comunicação entre componentes assíncronos de sistemas computacionais (PETERSON, 1981).

A partir do modelo original que se destinava à modelagem de sistemas concorrentes, desenvolveram-se ao longo dos anos várias abordagens baseadas no formalismo das chamadas redes de Petri Clássicas ou Ordinárias. Segundo MAZIERO (1990), através dessas diferentes abordagens, busca-se ampliar a capacidade de expressão, principalmente nos quesitos de temporização e estrutura de dados.

Ainda conforme PETERSON (1981), ao final dos anos 60 e início dos anos 70, pesquisadores como A. W. Holt do ADR (*Applied Data Research Inc.*) e J. B. Dannis do MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) foram alguns dos responsáveis por disseminar aquela que ficaria conhecida como teoria das redes de Petri.

De acordo com MARRANGHELLO (2005), na década de 70 as redes de Petri foram muito utilizadas na modelagem de componentes de hardware, linguagem de programação, controle de processos, sistemas distribuídos e protocolos de informação. Com seu desenvolvimento em curso, na década de 80 a teoria abarcou novas áreas como automação de escritórios, bancos de dados, inteligência artificial e sistemas de informação em geral. Ainda segundo o autor, ao longo dos anos de 1990 e 2000, foram iniciados os processos de formalização dos padrões junto à ISO (*International Standards Organization*).

De acordo com DAVID e ALLA (2005), ainda que os principais usuários das redes de Petri sejam cientistas das áreas da computação e de controle e automação, a ferramenta é geral o bastante para modelar sistemas dos mais variados tipos. Bastante utilizadas no universo da Biologia para a representação de sistemas complexos, podem ser trabalhadas com segurança para representar reações químicas de metabolismo, transdução de sinal, expressão genética e também foram aplicadas aos processos neurais (BLÄTKE, HEINER e MARWAN, 2011; CARVALHO, 2015; HEINER *et al.*, 2012; HEINER, DONALDSON e GILBERT, 2010; HEINER M., GILBERT, 2011; GILBERT, HEINER e LEHRACK, 2007; LIU e HEINER, 2014; MARWAN, RHOR e HEINER, 2012). Nesta área do conhecimento, se mostraram eficientes na reconstrução de redes moleculares complexas. Ainda segundo os autores, seu poder de abrangência é vasto, podendo descrever desde um único organismo inteiro até populações. Podem ser estendidas ou editadas em forma de

sub-redes, promovendo assim, um refinamento de seus componentes e facilitando a visualização destes sistemas.

3.1. Componentes de uma Rede de Petri

As redes de Petri são definidas por um gráfico bipartido que opera com conceito de nós. A estes nós, dá-se o nome de **estados** e **transições**. Estes mesmos nós são conectados através dos **arcos** e a existência de recursos dentro desta rede é indicada pela presença de **marcas** (CARDOSO e VALETTE, 1997; DESEL e JUHÁS, 2001; MARRANGHELLO, 2005; PETERSON, 1981).

Em razão do alto nível de abstração, um ou outro autor pode designar nomenclatura distinta para identificar alguns dos nós, como o uso do termo “lugar” para representar um **estado** e “ficha” para representar as **marcas**. Porém, a estrutura topológica da rede segue um padrão já consolidado. Ao longo desta pesquisa será utilizada as nomenclaturas de **estados**, **transições**, **arcos** e **marcas**, conforme a Figura 8.

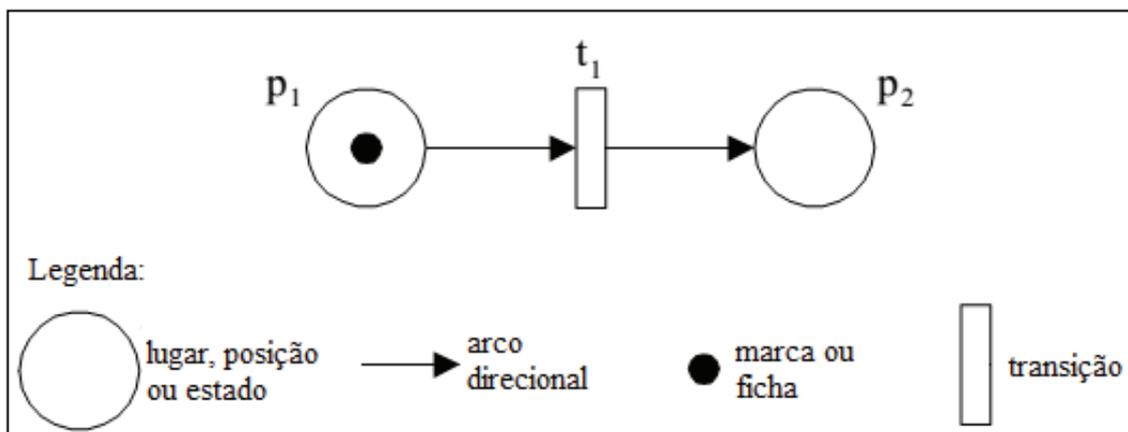


Figura 8 - Exemplo básico de uma Rede de Petri.

Fonte: Adaptado de YAMADA, PORTO e INAMASU (2002).

- **Estado**

Um **estado**, também chamado posição, *place* ou lugar, é considerado o componente passivo do sistema e é representado graficamente por uma elipse ou um círculo. Um **estado** pode ser compreendido como sendo uma condição, uma espera, um procedimento, um estoque ou posição geográfica em um sistema de transporte. O número de **estados** é finito e diferente de zero (CARDOSO e VALETTE, 1997).

Os **estados** podem apresentar atributos de identificação, marcas e capacidade. A capacidade é o número máximo de marcas suportado pelo **estado** durante um tempo, não sendo um valor infinito (YAMADA, PORTO e INAMASU, 2002).

Um **estado** é dito **estado de entrada** de uma transição ou **pré-estado**, representado por $(\bullet t)$, quando houver um arco conectando este **estado** a esta transição e onde sua seta direcional aponta para a transição. Por outro lado, um **estado** é dito **estado de saída** de uma transição ou **pós-estado** ($t\bullet$) quando houver um arco conectando esta transição a este **estado** e onde sua seta direcional aponta para o **estado**. A Figura 9 apresenta uma rede onde se verifica a existência de um **pré-estado** p_1 e um **pós-estado** p_2 .

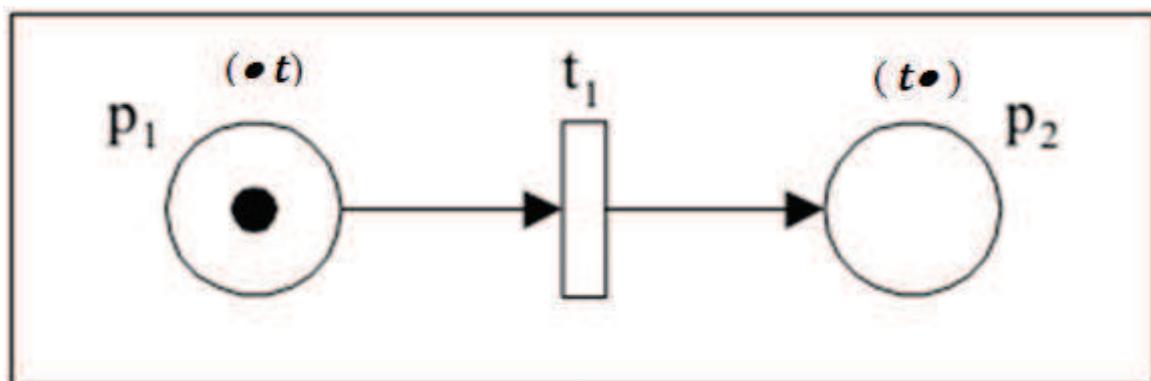


Figura 9 - Estado de entrada (pré-estado) p_1 e Estado de saída (pós-estado) de uma determinada transição t_1 .

Fonte: Adaptado de YAMADA, PORTO e INAMASU (2002).

- **Transição**

Por **transição**, entende-se um evento, operação ou ação que ocorre no sistema e que o leva de um estado a outro. Uma **transição** pode produzir, consumir, transportar ou mudar marcas. Podemos ter, por exemplo, o início de alguma operação de uma máquina. A **transição** considerada o componente ativo do sistema, sendo graficamente representado por uma barra, retângulo ou quadrado. Além disso, a **transição** apresenta como atributos sua identificação e, no caso de redes de Petri temporizadas, o tempo gasto no disparo desta **transição** ou a probabilidade (tempo de espera) de o disparo ocorrer (POPOVA-ZEUGMANN, 2013).

- **Arco**

Os **arcos** expressam a relação do fluxo dentro da rede através de setas direcionais e demonstram a ocorrência das transformações de um estado a outro, como indicativo de uma ação no sistema. Seu único atributo é o peso, onde um **arco** de peso k (sendo k um número inteiro positivo) poderá ser definido como um conjunto de k **arcos** paralelos (YAMADA, PORTO e INAMASU, 2002).

Na estrutura das redes de Petri os **arcos** recebem distinções específicas quanto à direção, de acordo com a relação entre **estados** e **transições**. São considerados função de entrada (I - *input function*) de determinada transição quando conecta um estado a esta transição, ou função de saída (O - *output function*) quando um **arco** conecta uma transição a um estado (PETERSON, 1981, p.7). Em algumas extensões de redes de Petri são

utilizados arcos especiais. Os arcos de leitura são utilizados para condicionar a habilitação de uma transição e arcos inibidores, por sua vez, bloqueiam o disparo de uma transição.

- **Marca**

Uma **marca** ou **marcação** (também chamada de ficha, *mark* ou *token* por alguns autores) posicionada dentro do estado (elipse ou do círculo), representado pelo símbolo (•), pode significar a disponibilidade de um objeto (recurso ou peça), uma posição ou um dado manipulável. Apesar das diferentes nomenclaturas registradas na literatura, nesta pesquisa optou-se pelo uso da palavra **marca** para designar este componente (CARDOSO e VALETTE, 1997).

A **marca**, representada graficamente por um ponto de cor preta, corresponde ao valor específico de uma condição ou objeto. Neste caso, sua presença em um determinado estado indica que a condição (do estado) é verdadeira ou que determinado item ou recurso representado por este estado está disponível (BAUSE e KRITZINGER, 2002; MURATA, 1989). Um exemplo é a utilização de uma **marca** associada a um estado qualquer que represente uma máquina destinada à operação. Isto pode indicar que a condição “máquina ocupada” é verdadeira e esta máquina estará trabalhando.

A Figura 10(a) apresenta a ausência de **marcas** dos estados de uma rede de Petri. Neste exemplo, pode-se concluir que essa ausência indica que todas as máquinas (estados) da rede estão disponíveis para uso (não estão sendo operadas). Caso a **marca** esteja associada a um estado que signifique um recurso (peças aguardando para serem utilizadas), a quantidade de **marcas** identificará a quantidade de peças disponíveis para uso, como pode ser visto nos estados P1, P3 e P6 da Figura 10(b).

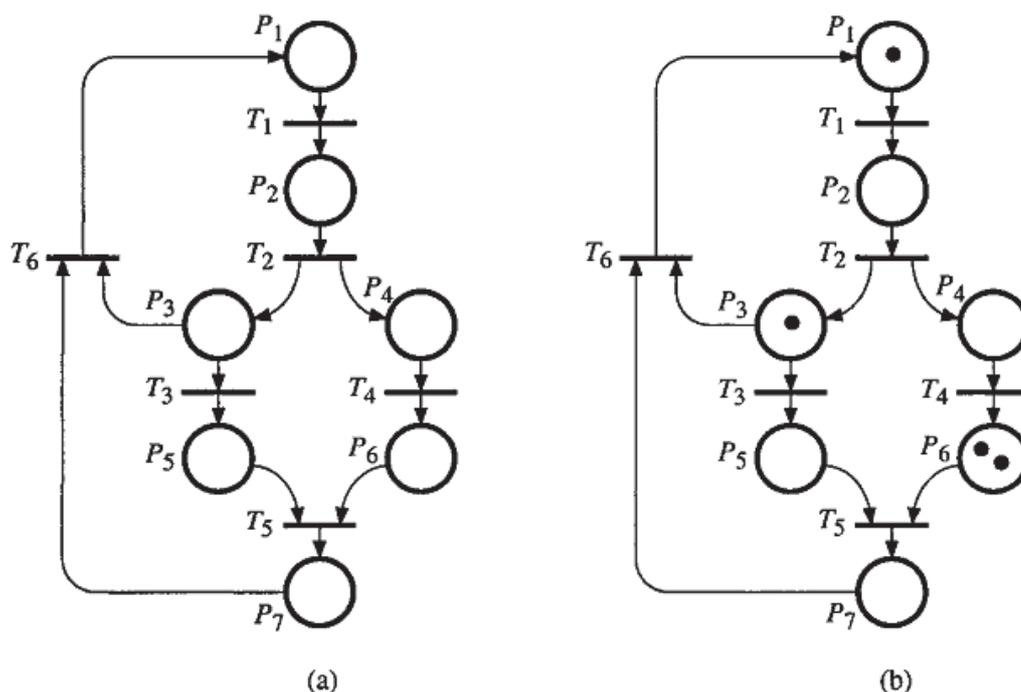


Figura 10 - Exemplos de Rede de Petri: (a) Não marcada (b) Marcada.
 Fonte: Adaptado de DAVID e ALLA (2005)

3.2. Estrutura da Rede de Petri

Além de poder representar processos simultâneos, as redes de Petri oferecem uma linguagem simples e flexível para atividades modelagem.

Segundo GILBERT, HEINER e LEHRACK (2007) e HEINER et al. (2012), a estrutura das redes de Petri está organizada e dividida em dois níveis: Redes de Petri Coloridas e redes de Petri Não-coloridas, conforme a Figura 11. Nessa figura, cada nível compreende uma família de redes de Petri correlacionadas, que compartilham a estrutura, porém mantendo sua especialidade. Ao nível de redes Não-coloridas estão as redes de Petri qualitativa (QPN), também chamadas redes de Petri Estado/Transição, que não consideram o quesito tempo ou probabilidade. Há também as redes de Petri quantitativas (dependentes de tempo): Estocásticas (SPC), Contínuas (CPN) e Híbridas Generalizadas (GHPN). Em

contrapartida, ao nível das redes de Petri Coloridas encontram-se as redes de Petri Qualitativas Coloridas (QPN^C), redes de Petri Estocásticas Coloridas (SPN^C), redes de Petri Contínuas Coloridas (CPN^C) e redes de Petri Híbridas Generalizadas Coloridas ($GHPN^C$).

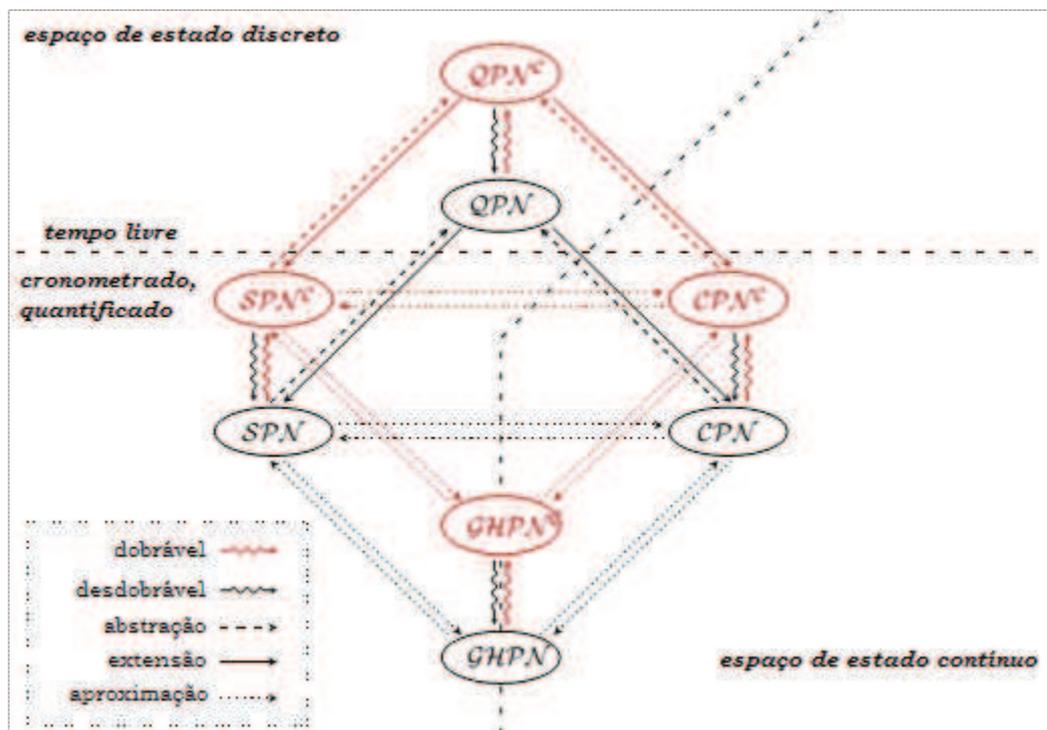


Figura 11 - Estrutura conceitual do formalismo da rede de Petri.

Fonte: Adaptado de HEINER *et al.* (2012)

Caso necessário, o pesquisador poderá realizar a conversão entre as classes (de rede Colorida para Não-colorida e vice versa), considerando-se uma possível perda de informações em ambos os sentidos desta conversão. Esta conversão entre níveis altera o estilo da representação, porém, não interfere na estrutura da rede subjacente.

Seguindo a definição proposta por GILBERT, HEINER e LEHRACK (2007) e HEINER *et al.* (2012), são apresentadas com maiores detalhes as diversas classes do formalismo (coloridas e não-coloridas):

Redes de Petri Qualitativas (QPN) são uma classe de redes Não-coloridas que correspondem às ideias básicas de Carl Adam Petri em 1962, pois descrevem as redes de Petri Estados/Transição (*P/T nets*) (LIU e HEINER, 2014), conforme Apêndice I.

As *P/T nets* foram ampliadas para redes de Petri Estendidas (XPN) através do uso de alguns arcos especiais como arcos de leitura e arcos inibidores que adicionam restrições às regras de disparo das transições. Conforme a Figura 12(a), arcos de leitura são representados graficamente por um arco com um ponto negro em sua extremidade e indicam que um determinado recurso foi requisitado, mas não necessariamente consumido após o disparo da transição. Já os arcos inibidores são representados por um arco com uma extremidade vazia (oca) – como mostra a Figura 12(b) – e indicam que o estado deverá conter um número menor de marcas que a quantidade indicada pelo peso do arco para que a transição (ao estado conectado) possa ser habilitada (LIU e HEINER, 2014).

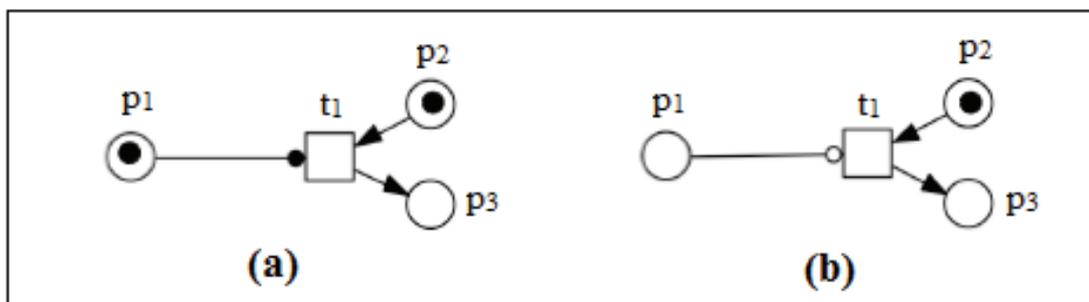


Figura 12 - Tipos de Arcos nas (XPN): (a) Arco de leitura; (b) Arco inibidor.
Fonte: Adaptado de YAMADA, PORTO e INAMASU (2002).

Redes de Petri Estocásticas (SPN) são extensões das (QPN). Tal qual a QPN, a SPN mantém um número discreto de marcas em seus estados, porém, com tempos de espera exponencialmente distribuídos atribuídos às transições especificadas pelas funções de taxas de disparo (taxas estocásticas) HEINER e GILBERT (2011). Sua semântica implícita é uma Cadeia de Markov de Tempo Contínuo (CTMC) que atribui tempos de espera exponencialmente distribuídos às transições. Com isso, é determinado um tempo de

espera estocástico antes de uma transição ativada realmente disparar, desde que não tenha perdido a condição de disparo entre as transições. Os tempos de espera são variáveis aleatórias seguidas de uma distribuição de probabilidade exponencial (MARWAN, RHOR e HEINER, 2012), conforme Apêndice I.

Redes de Petri Contínuas (CPN), a marca é dada por um número real positivo, ao contrário dos casos das redes qualitativa (QPN) e estocástica (SPN) que utilizam valores discretos, as CPN trabalham com valores contínuos. Nesta classe de redes, o disparo instantâneo de uma transição é realizado tal qual um fluxo contínuo. Nesta classe, uma transição está habilitada no seu estado de marcação atual se as marcas de todos os pré-estados forem números positivos e maiores que zero, $\forall e \in \bullet t : m(e) > 0$ (BLÄTKE, HEINER e MARWAN, 2011).

Redes de Petri Híbrida Generalizada (GHPN), onde se integram todas as funcionalidades das redes Estocásticas e Contínuas (SPN e CPN) em uma nova classe. São redes personalizadas (porém, não limitadas) a modelos que requerem interação entre um comportamento estocástico e um contínuo. Este tipo de rede proporciona um meio termo entre acuracidade e velocidade de execução da simulação do modelo através do ajuste apropriado do número de transições estocásticas. Esse ajuste pode ser realizado pelo usuário (estaticamente) ou via algoritmo de simulação (dinamicamente).

Redes de Petri Coloridas: Cada uma das classes de redes de Petri Não-coloridas (QPN, CPN, SPN e GHPN) possui a sua extensão Colorida em contrapartida (QPN^C, CPN^C, SPN^C e GHPN^C), preservando todas as características das redes Não-coloridas. JENSEN (2009, apud CARVALHO, 2014) afirma que as redes de Petri Coloridas são uma extensão do formalismo das redes de Petri nas quais informações (ou tipos de dados) são atribuídas às marcas sob a forma de “cores”. LIU, HEINER e ROHR (2012) apontam que

as redes de Petri Coloridas aliam técnicas de linguagem de programação na descrição dos dados e das operações, favorecendo a produção de modelos parametrizáveis e compactos ao diferenciar as marcas com cores diversas além de “preto”. Ainda conforme os autores, as expressões de arcos (extensão dos pesos dos arcos) são responsáveis por determinar a sequência de movimentação das marcas através destes arcos. Já a existência de restrições na habilitação das transições, é dada pela presença de guardas representadas por expressões booleanas.

HEINER et al. (2012) reforçam que os dados que podem compor este conjunto de cores podem ser de dois tipos: Simples, do tipo ponto, números inteiros, uma *string*, um booleano, enumeração e índice, ou Compostos, do tipo produto e união. Esta configuração permite uma abstração da operação e da estrutura.

3.3. Propriedades comportamentais

As propriedades comportamentais de uma Rede de Petri determinam o comportamento do modelo do sistema. Também são dependentes da estrutura da rede qualitativa e da marcação inicial, porém, não dependem do aspecto temporal (BLÄTKE, HEINER e MARWAN, 2011; HEINER, DONALDSON e GILBERT, 2010). As propriedades comportamentais são definidas como:

- **Vivacidade (*Liveness*)**

Uma Rede de Petri será considerada viva se cada uma de suas transições puder sempre ocorrer novamente, onde a rede é fortemente conexa e todas as transições etiquetam ao

menos um arco no grafo. Ou seja, se para cada marcação alcançável e cada transição, é possível alcançar uma marcação que a habilite.

Em outras palavras, uma Rede de Petri é viva se, independente de sua evolução, nenhuma transição ficará inabilitada permanentemente.

- Uma rede Petri está livre de estado morto, se não houver marcas mortas alcançáveis.
- Uma rede Petri está viva, se cada transição for viva.

- **Limitação (*Boundedness*)**

Uma Rede de Petri é *k-limitada* se a quantidade de marcas em cada um dos estados desta rede não ultrapassar este número inteiro positivo k em nenhuma marcação. Uma rede será limitada, se todos os seus estados forem limitados e isso impede o transbordamento por aumento ilimitado de marcas nos estados.

- Um estado e é k -limitado se houver um número inteiro positivo k , que represente um limite superior para o número de marcas neste estado, em todas as marcas acessíveis da Rede de Petri: $\exists k \in \mathbb{N}_0 : \forall m \in [m_0] : m(e) \leq k$
- Uma rede de Petri é k -limitada se todos os seus estados estiverem k -limitados.
- Uma rede de Petri é estruturalmente limitada se for limitada em qualquer marcação inicial.

- **Reversibilidade (*Reversibility*)**

Basicamente, esta propriedade possibilita o retorno do sistema ao estado inicial. Neste caso, para cada marcação M_i , dentro do conjunto das marcações acessíveis, a marcação inicial poderá ser alcançada novamente, proporcionando à rede a capacidade de auto-reinicialização.

- Uma rede de Petri é reversível se a marcação inicial for novamente alcançada a partir de cada marcação acessível: $\forall m \in [m_0] : m_0 \in [m]$.

- **Alcançabilidade (*Reachability*)**

Esta propriedade demonstra que, partindo-se de uma determinada marcação inicial, é possível alcançar uma marcação específica através do disparo de um número finito de transições. Uma transição habilitada ao ser disparada mudará as marcações de uma rede conforme as regras de disparo.

- **Segurança (*Safeness*)**

Esta propriedade determina que uma rede é segura (binária) se todos os estados que a compõem são seguros, ou seja, se todos os estados podem conter apenas uma ou nenhuma marca. Uma Rede de Petri Segura é um caso particular de rede limitada para a qual os estados são limitados a $k = 1$.

- **Cobertura (*Coverability*)**

O conceito de cobertura (*coverability*) está diretamente ligado às definições de alcançabilidade e vivacidade. Esta propriedade demonstra se uma determinada marcação poderá ser obtida partindo-se de uma marcação inicial. Tem-se então que uma marcação M' estará coberta se o número de marcas de cada estado da rede é $M''(E_i) \geq M'(E_i)$.

- **Persistência**

Caso o disparo de uma transição não desabilite disparo de outra transição, tem-se uma rede persistente. Sendo assim, a próxima transição continuará habilitada até seu disparo. A propriedade de persistência é importante no tratamento de sistemas concorrentes e em circuitos com atividades assíncronas.

- **Justiça (*Fairness*)**

O conceito de justiça pode ser apresentado sob a forma de justiça limitada (*bounded-fairness*) ou *B-fair*, onde duas transições T_i e T_j são assim classificadas se o número de vezes em que uma delas dispara é limitado, enquanto a outra não dispara, ou ainda sob a forma de justiça incondicional (ou global), onde uma sequência de transições S_l é assim classificada se for finita ou se todas as transições da rede aparecem infinitas vezes em sequência.

3.4. Propriedades estruturais

Estas propriedades também são chamadas de propriedades não dependentes da marcação e são utilizadas em casos em que o objetivo é observar propriedades relacionadas apenas com as estruturas dos modelos. São diretamente dependentes das disposições dos estados, transições e arcos (ou arcos com pesos). Elas podem ser considerados como uma verificação de consistência inicial visando checar se o modelo adere à modelagem em termos de pressupostos e diretriz (BLÄTKE, HEINER e MARWAN, 2011; HEINER, DONALDSON e GILBERT, 2010).

- **Pura (PUR)**

Não existem dois nós diretamente conectados em ambas as direções. Assim, nenhum componente será produzido e consumido na mesma reação ou processo. Uma Rede de Petri será pura se, e somente se $\forall x,y \in E \cup T : f(x,y) \neq 0 \Rightarrow f(y,x) = 0$.

Assim, nenhuma transição possui um estado como entrada e saída ao mesmo tempo (CARDOSO e VALETTE, 1997).

- **Ordinária (ORD)**

Uma Rede de Petri é ordinária se $\forall x,y \in E \cup T : f(x,y) \neq 0 \Rightarrow f(y,x) = 1$. Logo, todos os pesos de todos os arcos da rede tem valor igual a 1 e as transições são disparadas, desde que sejam sensibilizadas. Portanto, sua sensibilização é condição necessária e suficiente para o disparo.

- **Homogênea (HOM)**

Uma Rede de Petri é homogênea se $\forall e \in E : \forall t, t' \in e^\bullet \Rightarrow f(e, t) = f(e, t')$. Logo, todo arco de saída de um determinado estado tem o mesmo peso (multiplicidade).

- **(NBM) *Non-blocking multiplicity***

Uma Rede de Petri é homogênea se $\forall e \in E : \bullet e \neq \emptyset \wedge \min \{f(t, e) \mid t \in \bullet e\} \geq \max \{f(e, t) \mid t \in e^\bullet\}$. Logo, o estado de entrada causa bloqueio de multiplicidade quando a multiplicidade mínima de um arco de entrada não é menor que a multiplicidade máxima do arco de saída.

- **Conservação (CSV)**

Uma Rede de Petri é conservativa se $\forall t \in T : \sum_{e \in \bullet t} f(e, t) = \sum_{e \in t^\bullet} f(t, e)$. Onde, todas as transições adicionam aos pós-estados, tantas marcas quantas foram retiradas dos seus pré-estados. Em resumo, todas as transições disparam marcas preservando as marcações. Logo, verifica-se o não consumo dos recursos pautado pela conservação das marcas, onde o disparo de qualquer transição não altera o número marcas.

- **Livre de conflito estático (SFC)**

Uma Rede de Petri é livre de conflito estático se $\forall t, t' \in T: t \neq t' \Rightarrow \bullet t \cap \bullet t' = \emptyset$, onde não existem duas transições compartilhando o mesmo pré-estado. Assim, conflitos estáticos indicam onde conflitos dinâmicos (escolhas não determinísticas) podem ocorrer no comportamento do sistema.

- **Nós de limite (FT0, TF0, FP0, PF0)**

Um nó $x \in E \cup T$ é chamado nó de limite se $\bullet x = \emptyset \vee x\bullet = \emptyset$. Nós de limite existem em quatro tipos:

- a) transição de entrada – uma transição sem pré-estado ($\bullet t = \emptyset$), FT0,
- b) transição de saída – uma transição sem pós-estado ($t\bullet = \emptyset$), TF0,
- c) estado de entrada – um estado sem uma pré-transição ($\bullet e = \emptyset$), FP0,
- d) estado de saída – um estado sem pós-transição ($e\bullet = \emptyset$), PF0.

Uma rede com nós de limite não pode ser limitada e viva ao mesmo tempo. Como exemplo, uma transição de entrada está sempre habilitada, logo, seus pós-estados são ilimitados. Já estados de entrada impedem uma rede de ser viva.

- **Conectada (CON) ou Fortemente conectada (SC)**

Uma Rede de Petri está conectada se, para cada par de nós (a, b) exista um caminho direcionado entre a e b . Conexão forte envolve conexão e ausência de nós de limite. Isto é uma condição necessária para uma Rede de Petri ser viva e limitada ao mesmo tempo.

3.5. Escolha do *software* e do *hardware*

Existe no mercado uma variedade de ferramentas para modelagem e simulação de sistemas que vão desde *softwares* mais acessíveis como o Microsoft EXCEL até programas específicos como SIMAN V, PROMODEL, FLEXSIM, SIMUL8, ARENA e WITNESS (BARAD, 2016; BEVILACQUA et al., 2013; BLACK e SCHROER, 1993).

Especificamente sobre redes de Petri, existem ferramentas para modelagem e simulação como Design/CPN, ExSpect, Petri Net Analyser, Petri Net Tools, CPN Tools, Snoopy, entre outros (ARANTES, 2006; BOZEK, 2012; CARVALHO, 2015; DAVID e ALLA, 1994; MIYAGI, MIYAGI e KISIL, 2002; WELLS, 2002).

Para a execução desta pesquisa, foi escolhido o *software* Snoopy como ferramenta de modelagem e simulação da Rede de Petri. Segundo HEINER et al. (2008) o *software* Snoopy é uma ferramenta utilizada para realizar modelagem, animação e simulação hierárquica de sistemas sendo baseado em um formalismo gráfico. Em comparação a outros *softwares*, a escolha pelo Snoopy se deu em razão de alguns pontos positivos destacados a seguir:

- Seu download é livre e sua utilização se dá sem custos, para uso não comercial;
- É possível trabalhar modelagens qualitativas e quantitativas dos sistemas investigados ao mesmo tempo (em paralelo). Além disso, do ponto de vista estrutural, permite alterar as propriedades dos nós ou suas capacidades, mesmo depois de construída a estrutura (o que não é prático, ou mesmo permitido por alguns outros *softwares*);
- Seu design genérico permite extensões de novas classes de gráficos. Além disso, seu editor gráfico possibilita – a qualquer momento – operações simples como copiar, colar e recortar, o que permite trabalhar as construções das redes de forma fácil,

usando blocos;

- A construção de gráficos complexos é possível através do uso do conceito hierárquico de sub-redes, acessíveis utilizando nós específicos que servem de conexão entre as redes;
- É possível realizar operações com diferentes tipos de extensões das redes de Petri, sejam elas estendidas, temporizadas, estocásticas ou contínuas, além de suas extensões coloridas;
- A conversão entre as classes da rede dentro do *software* se dá observando a estrutura do formalismo e sua implementação se faz de forma hierárquica e modular. Assim, cada módulo permite que extensões sejam adicionadas sem que seja necessário alterar a estrutura do modelo;
- Oferece um ambiente de modelagem unificada onde reúne em uma única tela os principais elementos gráficos acessíveis, a estrutura hierárquica e tela de animação, de forma independente;
- Através de animação interna, é possível visualizar o fluxo das marcações ao longo da rede, seu comportamento dinâmico e a causalidade do modelo, permitindo sua fácil compreensão.
- Opera tanto em sistemas Windows quanto Linux, seu código é escrito em linguagem de programação C++, possibilita exportar seus arquivos em várias extensões e possui suporte de impressão eps, Xfig e FrameMaker, além de poder utilizar ferramentas externas para análises das redes;

Apesar de se apresentar como uma ferramenta concebida para realizar modelagem, animação e simulação, o Snoopy não é capaz de realizar análises. Assim, utilizou-se uma ferramenta externa para tratar a análise da rede (ROHR, MARWAN e HEINER, 2010).

Coube ao software Charlie (HEINER, SCHWARICK e WEGENER, 2015) executar a tarefa de análise da rede segundo os pressupostos (propriedades estruturais e comportamentais) apresentados por HEINER, DONALDSON e GILBERT (2010) e também por BLÄTKE, HEINER e MARWAN (2011).

Para a realização desta pesquisa com implementação e animação do software Snoopy e para a análise com o Charlie, utilizou-se o sistema operacional Windows 8.1 Pro 64 bits em um equipamento LENOVO Intel Core i3 CPU 1,70GHz com 4GB RAM.

4. MODELAGEM DO SISTEMA

Um modelo conceitual é sempre uma abstração da realidade utilizado para nos aproximar do comportamento real do sistema. Porém, o modelo conceitual tende a ser mais simples que o sistema real. Caso contrário, não há necessidade de utilização de um modelo. Sendo tão complexo ou mais que o sistema real, o modelo conceitual perderia sua utilidade. Logo, ainda que trate de sistemas complexos, um modelo poderá não estar completo (CHWIF e MEDINA, 2010).

Assim, a natureza do modelo em Rede de Petri alvo desta pesquisa, explicita o processo de manufatura de um determinado produto (camisa gola polo), especificamente dentro da unidade da costura que é caracterizado pela produção em lotes. Neste modelo, estão representadas de forma simplificada as relações de precedência, concorrência ou assincronia entre as atividades e recursos empregados dentro das seis células da produção, considerando um modelo ideal que opera sem as falhas possíveis do setor de produção, tais como falta de suprimentos, quebra de equipamentos, ausência de mão de obra, retrabalhos, etc.

Ainda que considerados em lotes, definidos com base nos pedidos de clientes, ou mesmo de acordo com as estimativas de venda do setor comercial, os suprimentos e produtos em processo de produção avançam à linha de montagem sofrendo transformações em cada um dos estágios da produção (costura ou preparação). Essas transformações ocorrem (mesmo em pequenas quantidades) de acordo com a demanda da próxima etapa da linha de montagem, sendo liberados ao estágio seguinte independentemente da conclusão das quantidades totais determinadas pelo lote. O esquema apresentado na Figura 13 representa uma abstração visual simplificada respeitando as condições reais.

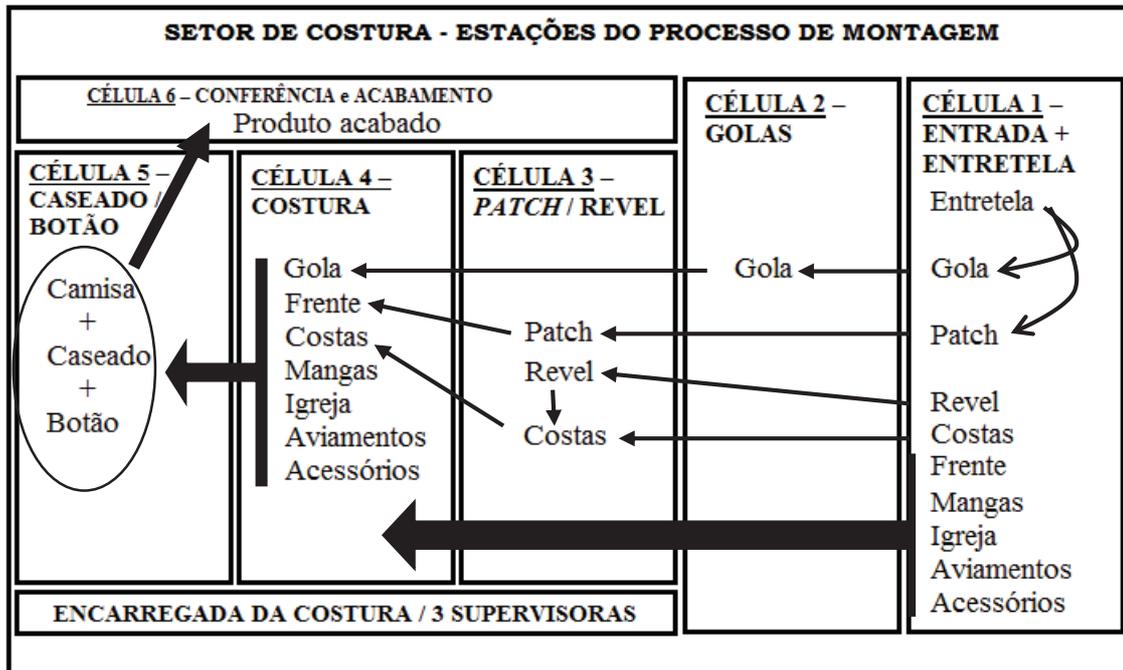


Figura 13 - Modelagem do processo de produção da célula de costura.

As informações sobre os **estados**, **marcações**, **pesos** e **transições** do sistema, tendo como referência, a modelagem qualitativa das redes de Petri Qualitativa (QPN), foram levantadas considerando os processos e atividades executadas ao longo do setor de costura, conforme apresentado na Figura 13.

Uma boa opção que facilite a visualização de um modelo em redes de Petri, quando este representa um sistema real de grandes dimensões, é o uso do conceito de redes hierárquicas. O conceito e suas funcionalidades podem ser vistos em Fehling (1993), onde o autor aponta as vantagens para a manipulação, representação e interface de modelos de grandes dimensões.

Assim, definiu-se nesta pesquisa, o modelo em rede de Petri Qualitativa para o processo produtivo do setor de costura utilizado para a fabricação do item camisa gola polo na empresa Alfa em dois níveis hierárquicos distintos, conforme descrito pela Figura 14.

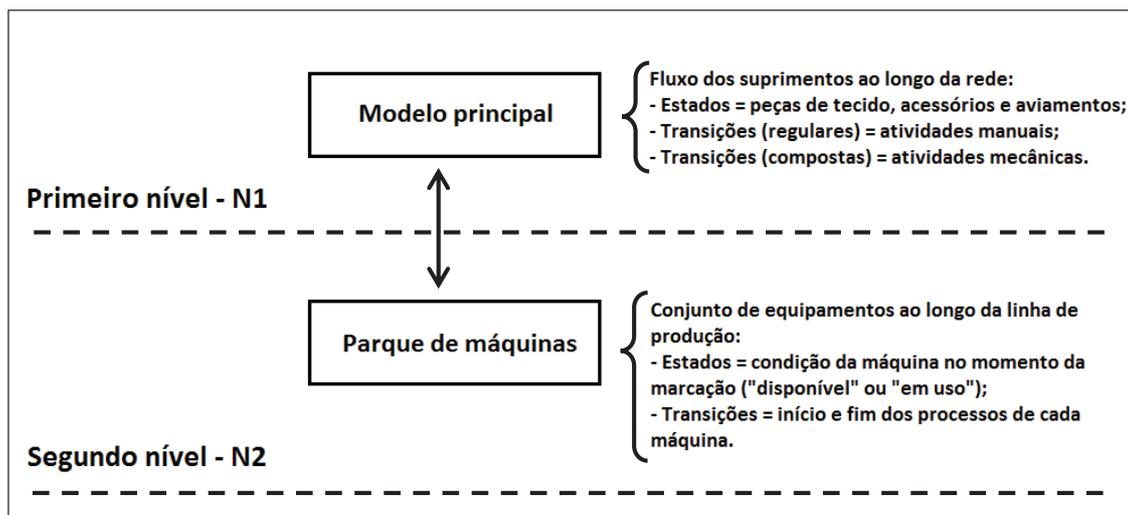


Figura 14 - Estrutura hierárquica da Rede de Petri no setor da Costura da empresa Alfa.

No primeiro nível hierárquico da rede (N1), que modela o fluxo de produtos do tipo suprimentos, movimentados ao longo da produção, ficou estabelecido que os **estados** da rede representam as matérias-primas (peças de tecido, acessórios e aviamentos), as quais serão transformadas em produtos, e em processo nas operações de montagem ao longo das células de manufatura do setor de costura e que, ao final, resultarão no produto final (a camisa gola polo). O seu conjunto será dado por $E = \{e_0, e_1, e_2, \dots, e_n\}$.

Neste nível, as **transições** são representadas por dois tipos graficamente distintos, segundo a classificação permitida pelo software Snoopy:

- **transições regulares**

Representado graficamente por um simples quadrado, elas descrevem as atividades manuais de conferência de recepção de mercadorias, verificação de qualidade (revisão) e acabamento (arremate e retirada de pontas de linhas e pequenas correções) que ocorrem entre ou dentro das células de produção. O seu conjunto será dado por $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_n\}$. As **transições regulares** podem ser de dois tipos: Determinísticas, onde a taxa de

disparo é dada pela inserção de um tempo de espera entre os disparos (*Delay*) e Imediatas, onde a regra do disparo é dada por uma função peso (*Weight*) que estabelece a quantidade de marcações a serem movimentadas em direção aos pós-estados imediatamente quando habilitada;

- **transições compostas**

Extensão do modelo representado graficamente pelo desenho de dois quadrados sobrepostos. Elas descrevem as atividades de manufatura onde os processos mecânicos são desenvolvidos através do uso de máquinas (de fusão por alta temperatura e de costura de diversos modelos) e que ocorrem dentro de cada uma das células de produção. Seu conjunto será dado por $T_c = \{tc_0, tc_1, tc_2, \dots, tc_n\}$

Através das **transições compostas**, é possível alcançar/visualizar o segundo nível da rede que representa a dinâmica mecânica da produção (parque de máquinas de costura).

No segundo nível hierárquico da rede (N2), ou nesta sub-rede, os **estados** representam as máquinas, modelando a sequência e o funcionamento do parque industrial e assumindo duas condições possíveis:

- estarão disponíveis (aguardando suprimentos) e, nesta situação, haverá uma marca no estado que graficamente representa a disponibilidade, ou
- estarão em uso, transformando suprimentos em novos produtos e, assim, a marcação estará presente no estado que indica a ocupação.

Neste nível, as **transições** são todas do tipo regulares e representam o início e o fim dos processos de transformação que cada uma das máquinas da linha de produção exerce sobre as matérias-primas.

Para ambos os níveis hierárquicos, as **marcas** apontam em que estágio (ou local) do processo de produção se encontra o modelo. Em virtude das características do processo produtivo da camisa gola polo, poderão ocorrer processos sequenciais, onde a presença de marcação em determinado estado dependerá da realização de alguma atividade antecessora, processos sincronizados nos quais dois ou mais itens serão unidos para formar um novo produto e precisam entrar juntos em algum processo de transformação para que se evite algum tipo de atraso ou quebra no ritmo de produção da linha, bem como poderão ocorrer processos em paralelo onde a realização de determinada atividade independerá da conclusão de outra(s).

A introdução dos materiais poderá ocorrer no início de cada operação, principalmente os relativos à matéria-prima básica (tecido), mas também poderão ocorrer ao longo do processo de montagem do produto final, como no caso da confecção dos bolsos, costura de cadarços e etiquetas, bordados ou montagem de plaquetas, quando houver.

4.1. Coleta de dados

Os dados foram coletados *in loco*, acompanhando o processo produtivo de um lote de 1.200 peças da camisa gola polo que, teve seu ciclo completo de produção realizado entre os dias 23 de fevereiro e 05 de abril de 2018, conforme tabelas apresentadas no ANEXO IV. Especificamente dentro do setor de costura (escopo do trabalho), o lote de peças foi produzido em um período aproximado de 4 dias entre os dias 20 e 24 de março de 2018, segundo informações do responsável pelo setor de costura.

Vale ressaltar que a empresa opera um sistema de informática para gestão da produção de forma global, onde as peças são etiquetadas no setor de embalagem e

registradas no sistema de informática a partir deste ponto. Ocorre, porém, que a unidade de manufatura (setor de costura) não conta com o auxílio de equipamentos de informática (computadores) para realizar o controle do fluxo da produção de cada atividade ao longo das seis células da costura.

Para o levantamento dos tempos de produção e construção do modelo determinístico (onde o sistema não depende de nenhuma variável probabilística – aleatória), foram coletadas no mínimo 75 amostras de tempos de operação de cada uma das 41 atividades realizadas dentro das seis células de manufatura do setor de costura, relacionados no Apêndice IV.

Visando garantir uma maior confiança nos dados, estas amostras foram coletadas em dias e turnos diferentes em conjuntos de 15 contagens cada, que compreendem desde a recepção e conferência dos tecidos cortados, acessórios e aviamentos, até a finalização do produto acabado (camisa gola polo) colocada à disposição do setor de embalagens. Foram consideradas as médias dos tempos coletados para cada uma das atividades, sendo em seguida inseridos na ferramenta Snoopy gerando um modelo determinístico utilizado para a simulação do tempo total e das quantidades padrão de produção.

Para o modelo estocástico (onde o sistema depende de alguma variável probabilística – aleatória), foram levantadas as possibilidades de influências sofridas em razão da falha de equipamentos e da falta de operadores de máquinas. No caso específico dos dados acerca das falhas de máquinas, os números levantados não constam em nenhum sistema de controle da empresa. Para este tipo de informação, não existe um indicador de desempenho oficial implantado pela empresa que forneça um dado real. Assim, os valores foram obtidos após consulta ao responsável pela manutenção dos equipamentos em consenso com a encarregada do setor de costura.

Desta forma, devido ao baixo índice de falhas em geral relatado, considerou-se apenas as probabilidades de quebras (seja de máquina ou de agulha da máquina) mais frequentes em dois estágios da produção ao longo da Célula 5, quais sejam as máquinas caseadeiras, utilizadas no processo representado pela transição composta **tc23 - CASEADO** e a máquina de costura de placas de metal, representada pela transição composta **tc25 – MAQ_PLC** (Apêndice II).

Segundo levantamento, as 3 máquinas do tipo caseadeiras (**tc23 – CASEADO**), operam com média de uma parada por mês para reparos em razão de algum tipo de quebra, onde o tempo de paralização do equipamento é de cerca de 30 minutos. Como operam em 2 turnos diários (matutino e vespertino) de 4 horas e 24 minutos ao longo de 5 dias por semana, o que totaliza 44 horas semanais, fixou-se um índice de probabilidade de quebra de 0,00833/máquina, conforme os dados a seguir:

1 Quebra de máquina/mês (CASEADO).

1 mês = 4 semanas

1 semana = 5 dias * 2 turnos/dia = 10 turnos/semana

(100% / 4 = 0,25/semana)

(0,25 / 10 = 0,025 de probabilidade de parada/turno/MÁQUINA)

P = 0,025/3 máquinas

P = 0,008333

No caso da máquina de placas (**tc25 – MAQ_PLC**), que, devido ao grande esforço mecânico causado pela costura de uma peça de metal junto ao tecido, a quebra de agulhas é frequente. Diferentemente das máquinas caseadeiras, a troca de agulha da máquina de

placas é realizada pela própria operadora (costureira) e não demanda mais que 30 segundos, sendo dada pelo cálculo a seguir:

$$1 \text{ Quebra de agulha/semana} = 5 \text{ dias} * 2 \text{ turnos/dia} = 10 \text{ turnos/semana}$$

$$(100\% / 10 = 0,1)$$

(0,1 de probabilidade de parada/turno/MÁQUINA)

$$P = 0,1$$

Para as faltas de funcionários (absenteísmo), apesar de ser uma empresa estruturada e consolidada no mercado, os dados levantados são generalizados para a produção como um todo. A costura, especificamente, opera com 44 colaboradores distribuídos em dois cargos principais representados pelos 32 operadores de máquinas (auxiliares de costura) e pelos 12 auxiliares de produção (distribuidoras, revisoras, etc).

Apesar da solicitação junto ao setor de recursos humanos, os dados foram levantados diretamente nos controles da equipe da costura que apontaram uma média de faltas de 2 colaboradores por dia de trabalho nos últimos 6 meses do ano de 2017. Além disso, a média dos tempos estimados de atraso na produção em caso de absenteísmo foi dada em 5 segundos por atividade, com base em estimativas fornecidas pelos responsáveis pelos setores de PCP e de produção. Este valor consiste em um dado empírico e é uma informação baseada nas experiências destes gestores, uma vez que a empresa não tem indicadores precisos que meçam os atrasos reais ao longo dos turnos de trabalho.

O cálculo realizado tenta determinar qual a probabilidade de pelo menos um dos 32 operadores de máquinas (auxiliares de costura) faltar em um dos dois turnos de trabalho/dia, quando na média, 2 colaboradores em um grupo total de 44 faltam ao trabalho por dia. Para tal cálculo, se recorreu à combinação simples, onde a ordem dos elementos no

agrupamento não interfere. Os arranjos são diferenciados apenas pela natureza de seus elementos. Logo, em um conjunto X formado por n elementos tomados p a p , quaisquer subconjuntos de X que forem formados por p elementos será uma combinação dada pela fórmula:

$$C_{(n,p)} = \frac{n!}{p! \cdot (n - p)!} \quad (1)$$

Com isso, foram calculadas as possibilidades de faltas sendo elencadas 4 possibilidades de combinação sendo uma falta total, a falta de um operador de máquina e um auxiliar de produção, a falta de dois auxiliares de produção e por último, a falta de dois operadores de máquinas. Por consequência, temos 4 conjuntos de probabilidades de combinação definidos por P_T que representa a probabilidade total de faltas no setor dado por $C_{(44,2)}$, que representa a combinação de um grupo de 44 indivíduos (funcionários no setor), tomados 2 a 2 (faltantes).

Para o caso da falta de 2 operadores de máquinas (auxiliares de costura) entre o subgrupo de 32 colaboradores, temos P_{2-O} , dado por $C_{(32,2)}$. A probabilidade da falta de 2 auxiliares de produção é representado por P_{2-A} , dado por $C_{(12,2)}$. Finalmente a probabilidade da falta de pelo menos 1 operador de máquinas é dado por $P_{1-O e 1-A}$, onde $C_{(32,1)} * C_{(12,1)}$. Logo, considerando a participação de $P_{1-O e 1-A}$ na falta total do setor dada por P_T , temos:

$$P_{(1-O e 1-A)} = \frac{C_{(32,1)} * C_{(12,1)}}{C_{(44,2)}} \quad (2)$$

$$P_{(1-O e 1-A)} = \frac{\frac{32!}{1! \cdot (32 - 1)!} * \frac{12!}{1! \cdot (12 - 1)!}}{\frac{44!}{2! \cdot (44 - 2)!}} \quad (3)$$

$$P_{(1-0 e 1-A)} = \frac{384}{946} = 0,405919662 \quad (4)$$

Uma vez estabelecida a probabilidade da falta de pelo menos um funcionário entre o grupo de operadores de máquinas em cada dia de trabalho, seu valor foi computado considerando cada turno (matutino e vespertino) de 4 horas e 24 minutos de trabalho e distribuído ao longo da rede nas 32 máquinas de costura. Portanto, a probabilidade final adotada para o absenteísmo de pelo menos um operador de máquina no setor de costura foi de $P_{(1-0 e 1-A)} = 0,006342495$.

Importante destacar que o modelo simulado calcula a simples reposição imediata da figura do colaborador faltante na operação da máquina, mas não o possível remanejamento de um funcionário de outra atividade ociosa ou com menor carga de trabalho.

4.2. Modelagem Qualitativa da rede de confecção

O modelo qualitativo desenvolvido ao longo deste trabalho está demonstrado conforme a Figura 15. Além disso, os conjuntos de atividades pertencentes a cada célula ao longo da linha de produção foram destacados e legendados para uma melhor compreensão do modelo.

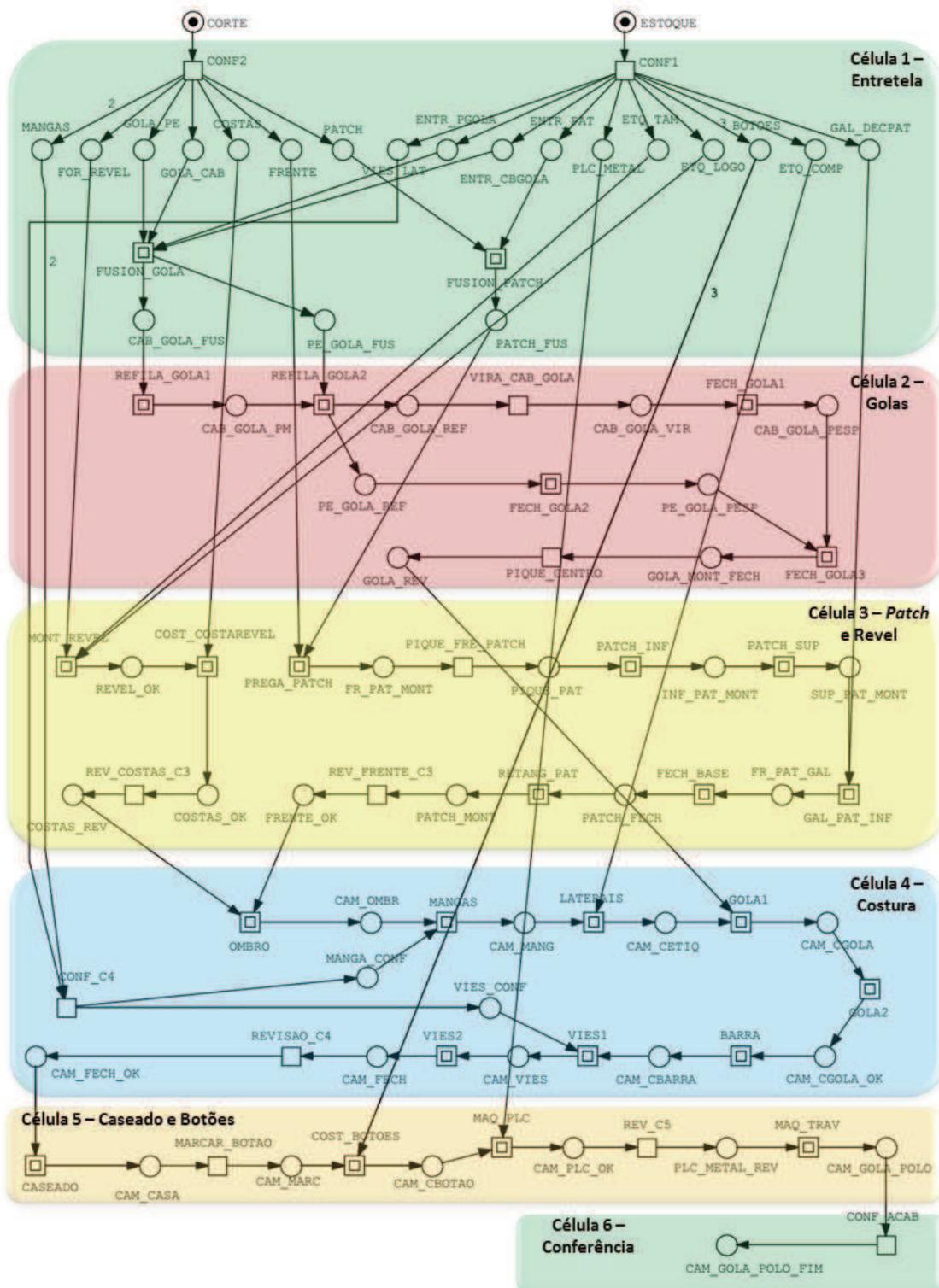


Figura 15 – Estrutura da rede de Petri qualitativa modelada no Snoopy representando o fluxo da produção da empresa Alfa.

O fluxo das matérias-primas, bem como a sequência e o funcionamento do parque industrial (representado pelas máquinas), ao longo das células do setor da costura, representados neste modelo qualitativo, foram desenvolvidos com o auxílio da ferramenta Snoopy.

Observando o primeiro nível hierárquico (N1) do modelo qualitativo da rede de Petri, que trata do fluxo de suprimentos, é possível visualizar todos os conjuntos de estados que o formam. Estes conjuntos dispostos ao nível hierárquico N1 estão minuciosamente detalhados no Quadro 1 (APÊNDICE II).

Ao longo da rede, tem-se inicialmente a formação do conjunto **Es**, que agrupa os **estados** com origem nos setores de Suprimentos. Fazem parte deste conjunto os estados que correspondem às peças de tecido, aviamentos e acessórios. Estes setores, ainda que não pertençam ao setor produtivo (costura), foram descritos visando facilitar a compreensão do modelo, uma vez que demonstram a origem das matérias-primas:

O conjunto de estados do setor de Suprimentos $E_s = \{e_0, e_1\}$, oriundos dos departamentos de Corte e Estoque, está representado na Figura 16:



Figura 16 - Estrutura da rede de Petri representando o setor de Suprimentos.

O conjunto de estados E_{C1} corresponde aos estados da rede pertencentes à Célula 1 da produção, definido por $E_{C1} = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_{21}\}$. Estes estados, visualizados ao longo da Célula 1 da produção, envolvem as operações de recepção (Entrada) e o tratamento inicial das Entretelas.

O conjunto de estados da Célula 1 da produção $E_{C1} = \{e1, e2, e3, \dots, e21\}$ está representado na Figura 17:

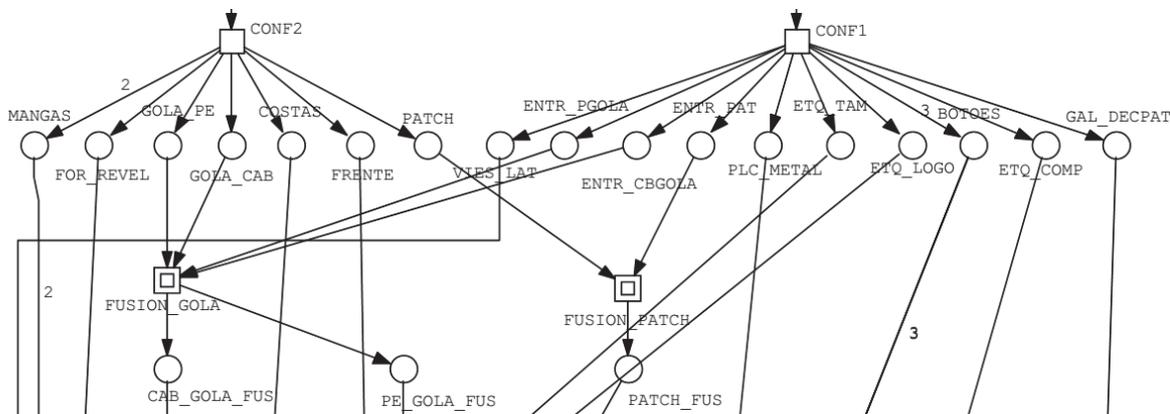


Figura 17 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 1.

O conjunto de estados $E_{C2} = \{e22, e23, e24, \dots, e29\}$ corresponde aos estados visualizados ao longo da Célula 2 de produção que envolve as operações montagem e fechamento das golas.

O conjunto de estados da Célula 2 da produção $E_{C2} = \{e22, e23, e24, \dots, e29\}$ está representado na Figura 18:

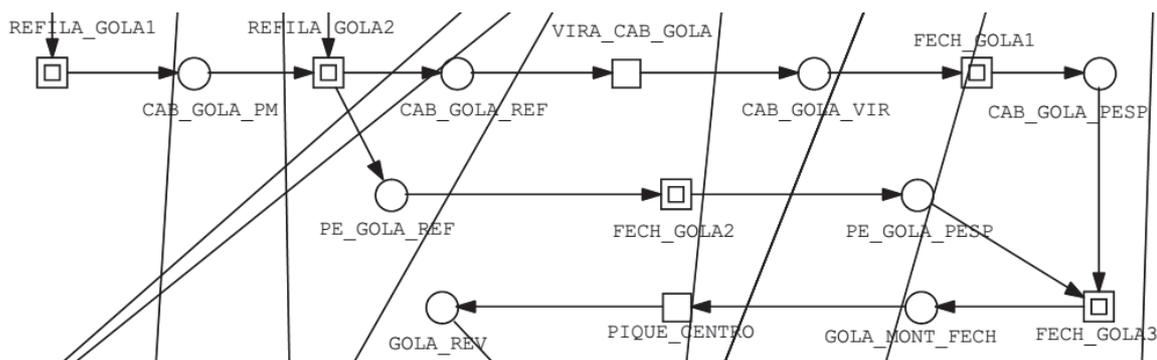


Figura 18 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 2.

O conjunto de estados $E_{C3} = \{e30, e32, \dots, e40\}$ corresponde aos estados visualizados ao longo da Célula 3 da produção que envolve as operações montagem e

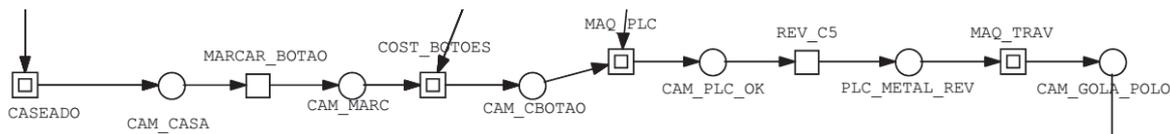


Figura 21 - Estrutura hierárquica da rede de Petri representando a Célula 5.

Já o conjunto de estado $E_{C6} = \{e58\}$ corresponde ao último estado descrito no nível hierárquico do fluxo dos suprimentos/produtos onde resulta na camisa gola polo, já finalizada e aguardando para envio ao estoque de produtos acabados ou para a expedição:

O conjunto com o estado da Célula 6 da produção $E_{C6} = \{e58\}$ está representado na Figura 22:



Figura 22 - Estrutura da rede de Petri representando a Célula 6.

Em seguida, ainda no primeiro nível hierárquico da rede (fluxo de suprimentos), são apresentados todos os conjuntos de **transições**, sejam elas **transições regulares** ou **transições compostas** (estas últimas permitem acessar o segundo nível da rede). Com o objetivo de facilitar sua visualização e destaque junto ao texto, as **transições regulares** foram nomeadas (**T**), enquanto que as **transições compostas** estão descritas como (**Tc**). A descrição minuciosa de todas as transições (regulares e compostas) é apresentada nos Quadros 2 e 3 do Apêndice II.

Vale ressaltar que as transições regulares tratam das atividades manuais executadas durante o processo produtivo e as transições compostas representam as atividades de máquinas mecânicas ou eletrônicas ao longo do setor de costura.

Concomitantemente às transições regulares presentes no primeiro nível hierárquico têm-se os conjuntos de **transições compostas** que possibilitam acesso ao segundo nível

hierárquico, especificando cada uma das máquinas utilizadas nos processos de manufatura da camisa gola polo em estudo.

A Figura 23 exemplifica com clareza a estrutura de funcionamento de uma atividade executada com o auxílio de uma máquina, aqui acessada através de uma transição composta (**tc6 – FECHA_GOLA3**) mostrada dentro do modelo. Na imagem, é possível visualizar os pré-estados (**CAB_GOLA_PESP** e **PE_GOLA_PESP**), juntamente com o pós-estado (**GOLA_MONT_FECH**).

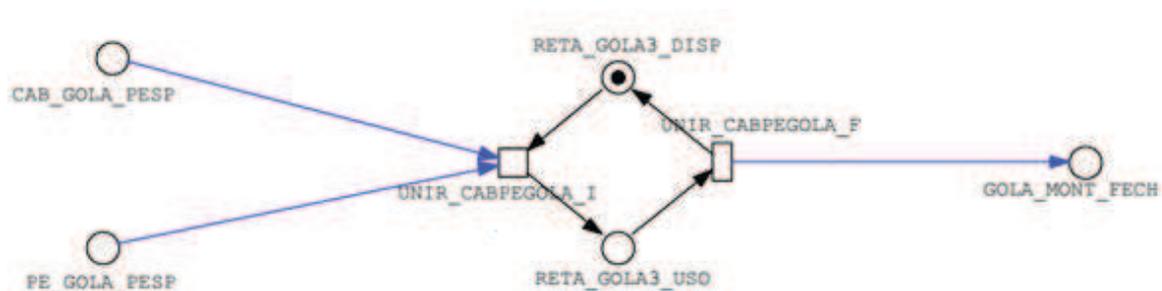


Figura 23 - Estrutura da sub rede qualitativa no nível N2 de hierarquia.

4.3. Modelagem Quantitativa Discreta

No modelo quantitativo, o fluxo das matérias-primas, bem como a sequência e o funcionamento do parque industrial (representado pelas máquinas) ao longo das células do setor da costura, segue inalterado diferenciando-se do modelo qualitativo (apresentado na Figura 15) pela inserção das quantidades de matéria prima do lote (estados iniciais: **CORTE** e **ESTOQUE**) e dos tempos de cada uma das atividades executadas através das transições regulares. Por consequência, toda a estrutura hierárquica (Nível N1 e N2) foi mantida.

A Figura 24 exemplifica a estrutura de funcionamento de uma atividade executada com o auxílio de uma máquina ao nível N2 da hierarquia, aqui acessada através de uma

transição composta (**tc6 – FECHA_GOLA3**) mostrada dentro do modelo. O modelo quantitativo difere da rede anterior (baseada na Figura 23) pela inserção do fator temporal.

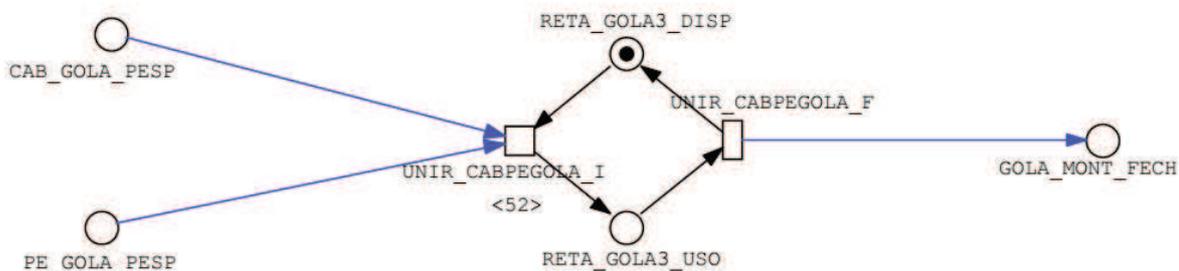


Figura 24 - Estrutura da sub rede quantitativa no nível N2 de hierarquia.

Assim é possível ver e compreender a representação desta máquina com seu esquema de funcionamento onde o ritmo de entrada da transformação é determinado por transições determinísticas e o de saída é comandado por uma transição imediata. No tipo de transição determinística, a regra de disparo é regida pela inserção de um tempo de espera entre os disparos (*Delay*), que na transição **UNIR_CABPEGOLA_I** apresentado no exemplo da Figura 24 é de 52 segundos.

Já no caso das transições imediatas, o disparo é realizado imediatamente sempre que habilitada, bastando haver marcação no pré-estado. A regra do disparo desta transição é dada por uma função peso (*Weight*) que estabelece a quantidade de marcações a serem movimentadas em direção aos pós-estados imediatamente quando habilitada. No exemplo, a transição **UNIR_CABPEGOLA_F** opera com peso igual a 1. Os estados **RETA_GOLA3_DISP** e **RETA_GOLA3_USO** indicam respectivamente as condições de uso ou de disponibilidade para operação desta máquina conforme a presença ou não da marcação.

4.4. Análise do modelo da Rede de Petri

Como parte do processo de modelagem, a análise do modelo de rede de Petri realizada nesta pesquisa foi executada com o auxílio da ferramenta Charlie (FRANKZE, 2009; HEINER, SCHWARICK e WEGENER, 2015). Esta análise teve por base os pressupostos básicos (propriedades estruturais e comportamentais) e sua consistência apresentados por HEINER, DONALDSON e GILBERT (2010) e também por BLÄTKE, HEINER e MARWAN (2011).

Portanto, para efeito de avaliação inicial do modelo qualitativo desenvolvido durante esta pesquisa, a presença de **marcas** nos **estados** indica a existência de cada item (produto), não levando em conta as quantidades de produção. Apenas foram representadas através das marcações, as situações de “presença” ou “ausência” de produtos ao longo dos estágios ou células da produção. As transformações do modelo são caracterizadas pela produção/consumo das marcações, que representam a produção de um novo item. As marcações não representam quantidades produzidas, mas apenas sua condição.

Neste sentido, a tarefa de análise da rede segundo os pressupostos (propriedades estruturais e comportamentais) apresentados por HEINER, DONALDSON e GILBERT (2010) e também por BLÄTKE, HEINER e MARWAN (2011), foi realizada através do uso do *software* Charlie, onde a rede modelada apresentou as seguintes informações:

- **(PUR) Pura**

Não existem dois nós diretamente conectados em ambas as direções:

Isto significa que o modelo desenvolvido nesta pesquisa representa uma rede com sentido

único, onde o fluxo dos produtos dentro da linha de produção segue um sentido unidirecional (obedecendo a uma sequência início, meio e fim). Assim, todo e qualquer produto dentro da linha de produção será movimentado e passará por transformações irreversíveis, onde seu estado original não mais será alcançado. Logo, a cada estágio um novo produto é criado por algum processo de transformação;

- **(ORD) Ordinária**

Todos os pesos de todos os arcos da rede tem valor igual a 1:

O modelo não considera quantidades, mas sim as condições dos produtos ao longo da linha de produção e as transformações sofridas a cada estágio (ou célula de produção). Além disso, o modelo não leva em conta situações de refluxo (*recall*) ou falhas no processo produtivo;

- **(HOM) Homogêneo**

Todos os arcos de saída de um determinado estado tem a mesma multiplicidade:

Por se tratar de um modelo qualitativo (onde são considerados apenas os estágios da cadeia produtiva), isto representa dizer que cada peça de produto produzido deriva de uma unidade de matéria-prima, ainda que de diversos tipos. Não se leva em conta, as quantidades produzidas e os arcos tem peso unitário apenas para possibilitar a execução do modelo;

- **(SB) *structurally bounded***

Uma rede de Petri é estruturalmente limitada se for limitada em qualquer marcação inicial: O modelo retratado nesta pesquisa aponta as marcações com peso igual a 1, apenas para execução da modelagem qualitativa e os componentes do sistema não acumulam pesos nos nós.

- **(CPI) covered by p-invariants**

A rede é coberta por p-invariantes se todo estado pertencer a uma p-invariante:

Neste caso, significa dizer que rede pesquisada inicia com um estado e finaliza em outro estado, pois a produção da confecção inicia com a presença de um produto (suprimentos) e finaliza com a presença de outro produto (produto final resultado das várias transformações). A concentração de massa é dada em todo o sistema. O sistema nunca crescerá infinitamente por apresentar um início em uma transição (produzindo marcações) e finalizando em um estado (acumulando marcações).

- **k-(B)1 k-bounded**

Uma rede é k-limitada se todos os estados são k-limitados.

Não há acúmulo na rede modelada por se tratar de marcações com peso sempre igual a 1.

- **(DTr) no dead transitions**

Uma transição na Rede de Petri é morta se não for habilitada por nenhuma marcação alcançável através da marcação inicial:

O sistema modelado funciona desde seu estado inicial (suprimentos) até o último estado (produto final), onde todas as transições (atividades de transformação) são habilitadas e conectadas a algum pós-estado.

No sentido contrário (*false*), o *software* Charlie apontou que a rede modelada não apresenta as seguintes propriedades:

- **Non-blocking multiplicity (NBM)**

O estado de entrada causa bloqueio de multiplicidade quando a multiplicidade mínima de um arco de entrada não é menor que a multiplicidade máxima do arco de saída:

O modelo pesquisado não apresenta esta propriedade por tratar-se de um modelo qualitativo onde todos os arcos tem peso igual a 1 (não há acúmulo de marcações).

- **(STP) *siphon trap property***

Também conhecido como *deadlock*, onde a marcação perde a conexão com o restante da rede e acaba bloqueada.

O modelo escolhido para esta fase da pesquisa representa um modelo ideal e não considera nenhuma invariância (problema ou qualquer erro no modelo) no fluxo da cadeia produtiva (falta de produto, falha de máquina, ausência de recursos, etc), pois todas as marcações tem um início, meio e fim, conforme a sequência da produção.

- **(REV) *reversibility***

A marcação inicial pode ser alcançada novamente a partir de cada marcação alcançável.

O modelo da pesquisa não é reversível e não volta ao estado inicial. Ou seja, uma vez transformado, o produto não será utilizado como fonte do estado anterior. Não há como reaproveitá-lo no início da linha.

- **(LIV) *liveness***

Todas as transições da rede contribuem para um comportamento contínuo da rede. A rede se auto alimenta. A rede modelada não é viva, pois considera apenas um fluxo unidirecional onde os suprimentos são transformados em um produto final acabado.

5. SIMULAÇÃO, ANÁLISE E RESULTADOS

O ambiente de manufatura de uma empresa do ramo de vestuário é bastante propício em termos de recursos, processos e atividades de transformação, permitindo assim, estudos em várias áreas do conhecimento. Neste sentido, torna-se útil o uso de modelos que consigam captar esta dinâmica produtiva e que simulem os possíveis cenários visando prever o comportamento do sistema. Logo, este rico ambiente produtivo pode servir de fonte para a avaliação quantitativa do modelo proposto.

No Capítulo 4 deste trabalho foi apresentado um modelo em redes de Petri Qualitativa (QPN) que proporciona um panorama claro das interações entre as atividades e processos integrantes dentro do setor de costura, para a produção de uma camisa gola polo. Nesta primeira fase, o foco foi a criação de um modelo exclusivamente qualitativo que representasse a estrutura e o fluxo produtivo, apontando a complexidade das relações de concorrência, assincronia e paralelismo de atividades, preparando o modelo para a simulação.

Optou-se então, pelo estudo de um modelo ideal (correto, coerente e sem erros). O próximo passo dentro da pesquisa foi o aprofundamento do modelo quantitativo adicionando os tempos das diversas operações dentro do setor de produção e também probabilidades de falha de equipamento ou de ausência de operador de máquinas através de uma rede de Petri Estocástica – SPN (HEINER et al., 2012), onde foram utilizados os dados disponibilizados pela empresa Alfa.

O mesmo modelo qualitativo foi transformado (convertido) em um modelo estocástico utilizando o *software* Snoopy, confirmando uma das vantagens desta ferramenta, conforme destaca GILBERT, HEINER e LEHRACK (2007). Em um primeiro momento, o modelo estocástico foi alimentado inserindo-se apenas os dados prioritários

relativos aos tempos médios de cada operação ao longo das seis células do setor de costura, visando avaliar o comportamento do modelo determinístico.

Em seguida, o modelo estocástico – SPN foi ajustado com o objetivo de refletir as condições do sistema real, com a inserção de índices de probabilidades de falhas baseadas nas coletas de dados (c.f. 4.1). Uma vez que o processo de validação pode conduzir a novas descobertas sobre o processo de manufatura, utilizou-se o modelo estocástico considerando os dados temporais e as probabilidades de falhas e/ou absenteísmo, para realizar sua validação com a realização de simulação, comparando os resultados com as informações extraídas da linha de produção.

5.1. Conversão entre modelos

Visando explorar a característica estocástica do sistema, foi realizada uma conversão do modelo de rede de Petri Qualitativa (QPN), apresentada no capítulo anterior, em um modelo de rede de Petri Estocástica (SPN). Em seguida, o modelo estocástico – SPN foi ajustado com o objetivo de refletir as condições do sistema real.

A estrutura hierárquica do modelo foi mantida mesmo com a conversão entre as classes. Esta operação foi possível acrescentando-se índices de probabilidades de ocorrência de falha (quebra) de máquina ou a falta de funcionário (absenteísmo) em alguns dos pontos do sistema. Nestes pontos, foram inseridas taxas que governam o comportamento do disparo de transições específicas, acrescentando restrições ao ritmo deste disparo nos momentos de consumo e produção de marcações.

Faz-se importante ressaltar que as probabilidades de falha de máquina ou de falta de funcionários inseridas no modelo estocástico são valores empíricos calculados com base em médias dos valores de tempos coletados (c.f. 4.1). Assim, foram extraídas de

informações não específicas coletadas junto à empresa diretamente no chão de fábrica sob a orientação dos responsáveis do PCP e do setor de Costura.

5.2. Simulação determinística

O modelo determinístico (onde o sistema não depende de nenhuma variável probabilística – aleatória), contendo apenas as informações relativas aos tempos médios de cada operação, foi simulado utilizando-se a ferramenta Snoopy. Esta primeira simulação foi realizada com o objetivo de validar o modelo avaliando seu comportamento e comparando-o junto ao sistema real. Para tal operação, o Snoopy teve seus parâmetros configurados para realizar a simulação com um intervalo de tempo entre 0 (zero) segundo à 15.840 segundos, que corresponde ao turno parcial de 4 horas e 24 minutos.

Os resultados iniciais apontaram um volume de produção médio de camisa gola polo da ordem de 165 peças por turno, o que representam uma produção diária de 330 peças, conforme a Figura 25. Este valor foi apontado pelo encarregado do setor de costura como sendo aceitável e confirmado com o responsável pelo PCP, uma vez que o lote com 1.200 peças objeto do trabalho, demandou 4 dias para ser finalizado dentro deste setor.

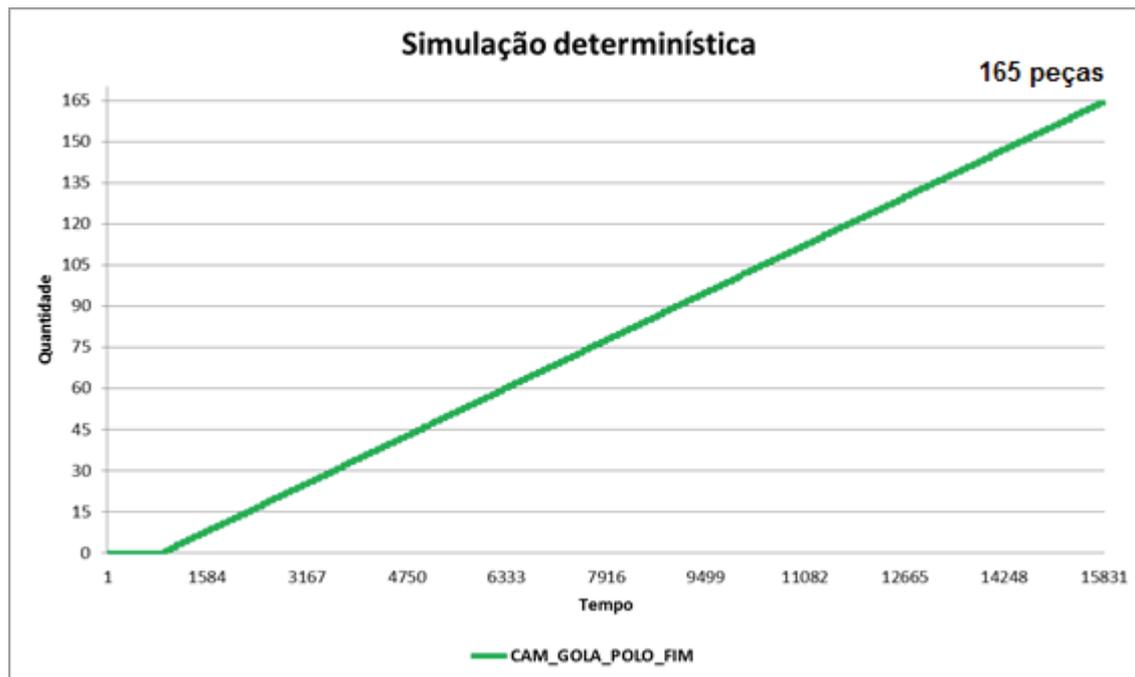


Figura 25 – Produção final ao longo do tempo no modelo determinístico.

Também através da simulação deste modelo determinístico, foi possível visualizar os primeiros gargalos provocados pelo acúmulo de produtos em pontos ao longo da rede. Faz-se necessário apontar que os estados que representam as matérias-primas puras e que estão liberados para uso logo após as atividades de **CONF1** e **CONF2**, não foram considerados gargalos, pois sua tendência natural é o acúmulo após a conferência na Célula 1. Na Figura 26 é possível visualizar a representação do acúmulo de marcações (quantidades) em determinados estados (produtos) que precedem algumas transições (atividades).

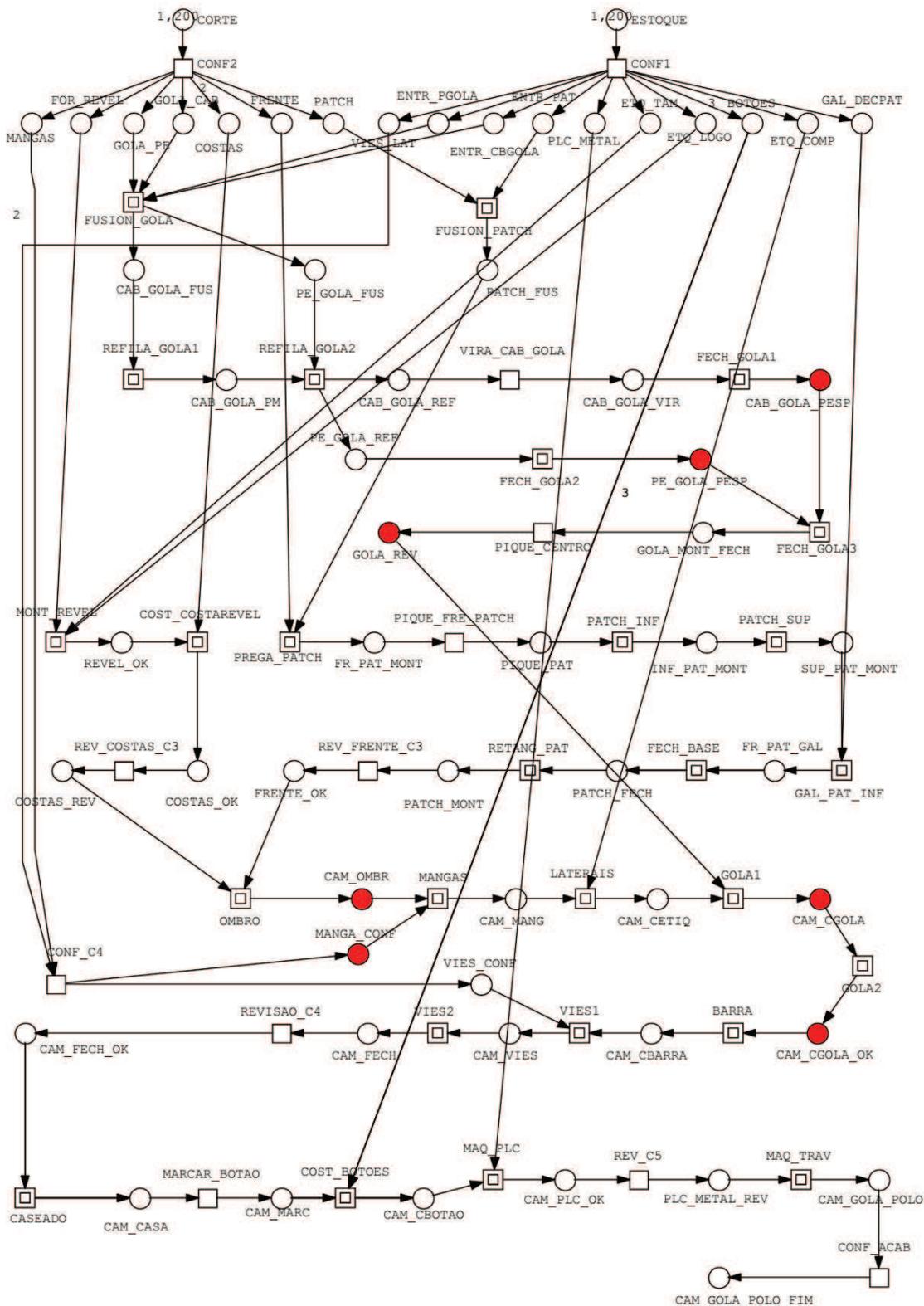


Figura 26 – Modelo determinístico com destaque para os acúmulos de marcações.

As situações de estrangulamento estão concentradas, em sua maioria, na célula da montagem da camisa. Neste ponto a maioria dos processos de transformação ocorre em linha sendo constituídos por operações com os maiores tempos de realização em todo o sistema.

Foram analisados os comportamentos de cada estado dentro da rede e selecionados dois pontos onde os dados apontados pela ferramenta Snoopy demonstram o acúmulo de marcações. Estes pontos referem-se às atividades (transições) de montagem das partes da gola da camisa (transição **FECH_GOLA3**) e da costura definitiva do conjunto da gola no corpo da camisa polo (transição **GOLA2**), conforme exemplos registrados na Figura 27.

A Figura 27 (a) demonstra os pré-estados (**CAB_GOLA_PESP** e **PE_GOLA_PESP**), matéria-prima da transição **FECH_GOLA3**. Disparada a transição, as matérias-primas são transformadas em um novo produto (**GOLA_MONT_FECH**) a cada 52 segundos de operação. A Figura 27 (b) representa a costura definitiva (segunda costura) da gola ao corpo da camisa polo, onde a camisa com a gola pré-costurada indicada pelo pré-estado **CAM_CGOLA** é manufaturada pela transição **GOLA2**, produzindo um novo produto (camisa com gola) a cada 82 segundos, indicado pelo pós-estado **CAM_CGOLA_OK**.

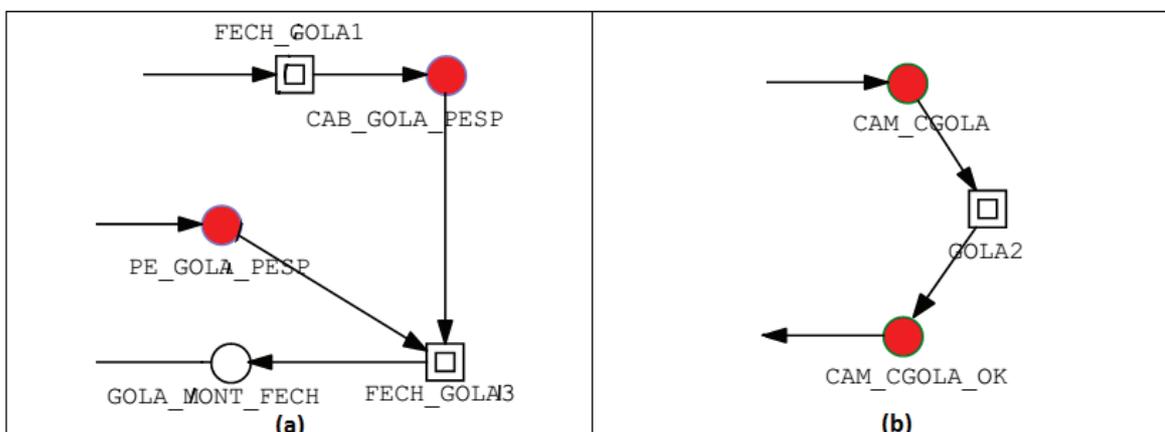


Figura 27 – Representação de gargalos dentro do sistema.

Os gargalos ficam evidenciados ao se comparar os volume de produtos, aqui representados pelo acúmulo de marcações nos estados, tanto nos pré-estados ($t\bullet$), quanto nos pós-estados ($\bullet t$) (conforme seção 3.1), observados através dos relatórios da simulação. Na Figura 28 é possível visualizar com clareza o comportamento de acúmulo de marcações apresentado pelos três estados analisados na Figura 27 (a).

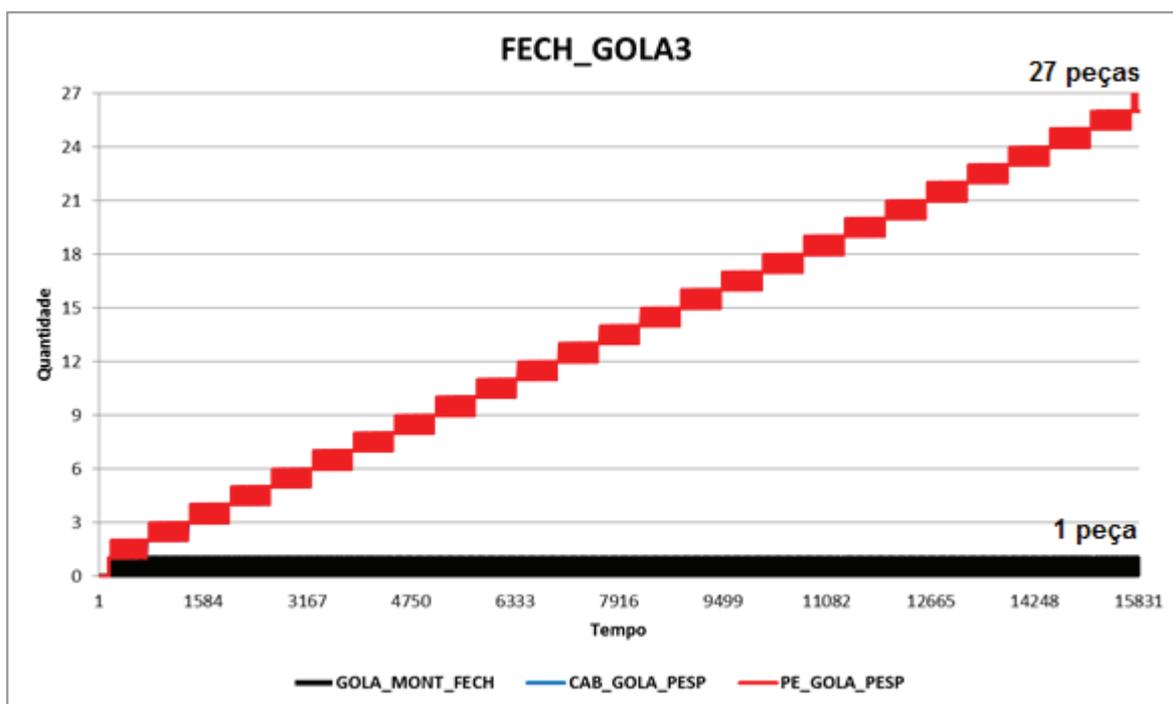


Figura 28 – Gargalo na transição FECH_GOLA3.

Fica fácil depreender da figura, que os pré-estados estão se acumulando num volume maior que o número de produtos confeccionados e liberados pela transição ao longo do turno de trabalho, chegando ao final do turno com um saldo de 27 unidades aguardando transformação. O pós-estado (**GOLA_MONT_FECH**), ao contrário, tem comportamento estável, pois sua produção é unitária.

Já a Figura 29 apresenta o resultado do acúmulo de marcações produzidas na transição representada na Figura 27 (b).



Figura 29 – Gargalo na transição GOLA2.

Nesta situação, o pré-estado (**CAM_CGOLA**) finaliza o turno de produção com um acúmulo de 34 unidades, pois é influenciado pelo tempo da operação de costura definitiva (segunda costura) da gola ao corpo da camisa polo, que produz uma unidade a cada 81 segundos em média.

Através da Figura 29, também é possível constatar que o pós-estado (**CAM_CGOLA_OK**) apresenta acúmulo de 22 unidades. Este comportamento é indicativo de um novo gargalo no sistema, pois a próxima transição não está conseguindo dar vazão ao fluxo de marcações (produtos).

No Quadro 1, estão relacionados os estados destacados na Figura 26 com as quantidades de suas respectivas marcações acumuladas ao final de um turno de trabalho na simulação determinística, além das respectivas transições que deram origem a estes acúmulos.

Quadro 1 - Estados acumulados no sistema após simulação determinística.

Estados	Nomenclatura	Número de marcações	Transições
e26	CAB_GOLA_PESP	27 unidades	FECH_GOLA3
e27	PE_GOLA_PESP	27 unidades	
e29	GOLA_REV	78 unidades	GOLA1
e42	MANGA_CONF	104 unidades	MANGA
e43	CAM_OMBR	100 unidades	
e46	CAM_CGOLA	34 unidades	GOLA2
e47	CAM_CGOLA_OK	22 unidades	BARRA

5.3. Simulação estocástica

Levando em consideração o objetivo deste trabalho, qual seja atestar a eficiência do uso do formalismo de redes de Petri para modelar e simular cenários de produção dentro de uma indústria de confecções, respondendo se é possível cumprir com os prazos contratados nos pedidos de seus clientes, o modelo apresentado na Figura 15 (c.f. 4.2) recebeu extensões ao nível N2 junto às estruturas que representam os conjuntos de máquinas em operação nas células do setor de costura.

Para a realização da simulação estocástica (onde o sistema depende de alguma variável probabilística – aleatória), não houve necessidade de grandes alterações na estrutura do modelo em si, pois o Snoopy permite a construção de uma rede estocástica inserindo apenas transições determinísticas. Foram realizados apenas ajustes em alguns pontos no nível hierárquico N2 da rede para incluir o fenômeno de aleatoriedade de eventos, como falha de equipamento ou falta de um funcionário (caso médio) para operação da costura, nos sistemas que representam as máquinas.

Este ajuste no modelo levou em consideração as informações levantadas junto às equipes dos setores de PCP e da costura para que os índices de probabilidades fossem calculados conforme apontados na seção 4.1. Assim, foram criados apenas alguns nós

junto aos conjuntos que representam o funcionamento das máquinas de costura. Este novo conjunto de nós em formato de diamante anexo ao sistema é composto por uma transição estocástica, uma transição determinística, além de dois estados onde um deles possui uma marcação, sendo conectados à rede através de um arco de leitura.

Na Figura 30 é apresentado o exemplo do conteúdo ao nível **N2** da transição composta (**FECHA_GOLA3**). Este sistema é influenciado pela extensão que governa a aleatoriedade da falta de um funcionário (absenteísmo). A transição **PROB_FALTA5** contém a função de probabilidade $P_{(1-0 e 1-A)} = 0,006342495$. A transição determinística **ATRASO5** está configurada para acrescentar um tempo de 5 segundos de atraso ao estado **FUNC_OK5**. Logo, este tempo será acrescido ao tempo de disparo da transição **UNIR_CABPEGOLA_I** que é de 52 segundos. Este estado por sua vez, está conectado à rede através de um arco de leitura, o que condiciona o disparo da transição **UNIR_CABPEGOLA_I** à presença de uma marcação. Assim, caso ocorra a probabilidade de absenteísmo, o tempo total da operação saltará de 52 para 57 segundos.

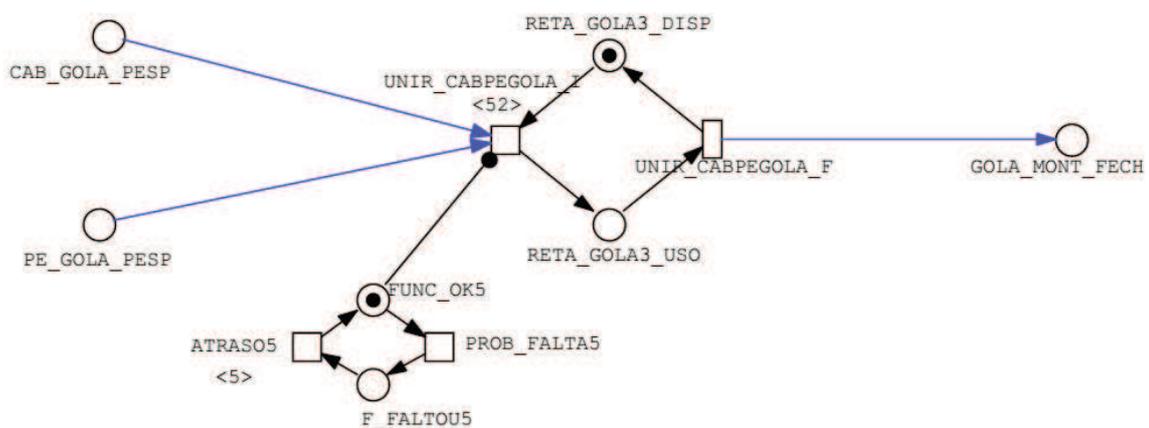


Figura 30 – Esquema estocástico da transição FECHA_GOLA3.

O modelo estocástico, contendo as informações relativas aos tempos médios de cada operação e também os índices de probabilidades de ocorrência de falhas de equipamento e também de absenteísmo (c.f. 4.1), foi simulado no ambiente Snoopy. Aqui o propósito foi realizar uma comparação entre os valores do modelo estocástico, em relação ao modelo determinístico anteriormente simulado, e os do sistema real. Os parâmetros foram configurados para realizar 1.000 rodadas de simulação com o mesmo intervalo de tempo entre 0 (zero) segundo à 15.840 segundos, que corresponde ao turno parcial de 4 horas e 24 minutos.

Os resultados da simulação, com a configuração original da rede refletindo a exata estrutura física do setor, apontaram um volume de produção de camisa gola polo da ordem de 38 peças por turno, o que representam uma produção diária de 76 peças, conforme a Figura 31.

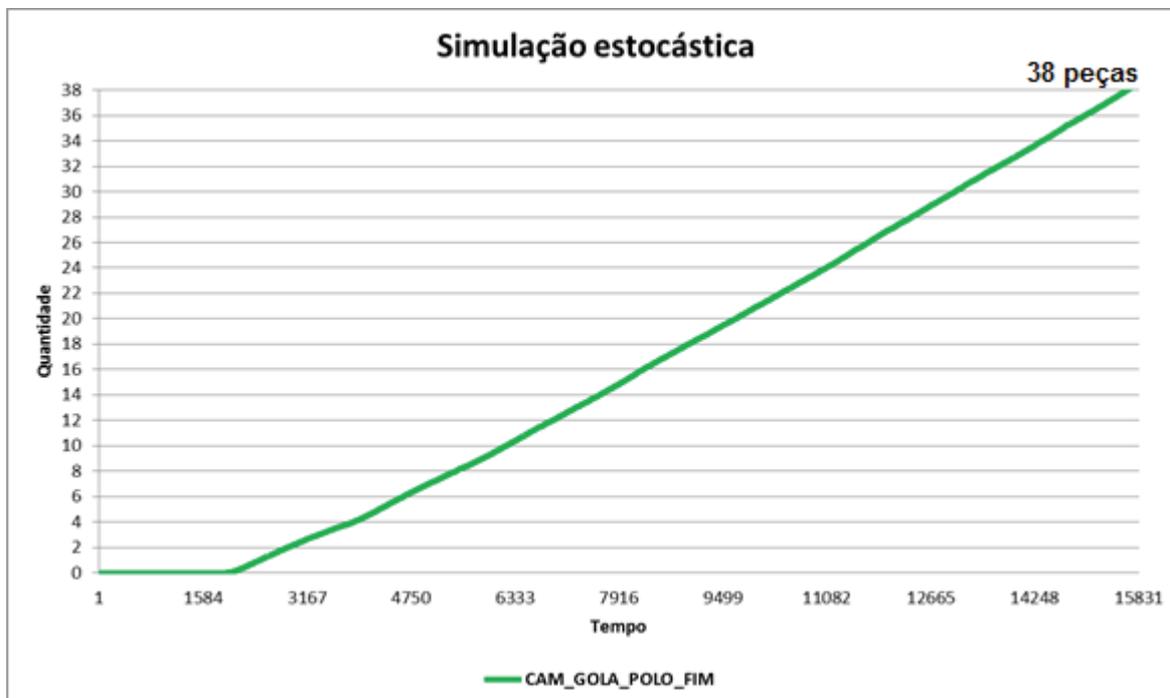


Figura 31 – Produção final ao longo do tempo no modelo estocástico.

Este valor difere em demasia dos valores encontrados no modelo determinístico, porém refletem o conjunto de informações levantadas junto à produção. Uma vez ciente da dificuldade na produção de informações e indicadores de gestão da produção, o modelo simulado trabalha com parâmetros de probabilidade específicos informados enquanto as informações geradas dentro da linha de produção não são. Além desse aspecto, há ainda a possibilidade da existência de situações adicionais não consideradas.

Através da simulação do modelo estocástico, foram levantados os principais gargalos provocados pelo acúmulo de produtos em cinco pontos ao longo da rede. Na Figura 32 é possível visualizar o acúmulo de marcações (quantidades) nos pré-estados envolvidos com a transição **MANGAS**, que representa uma máquina de costura tipo Overloque e executa a união das mangas à camisa (frente + costas). O relatório aponta a discrepância entre o número de peças acumuladas ao final do período de atividade (**CAM_OMBR** = 137 peças; **MANG_CONF** = 155 peças) em relação ao acúmulo de peças produzidas na saída da transição (**CAM_MANG** = 6 peças).

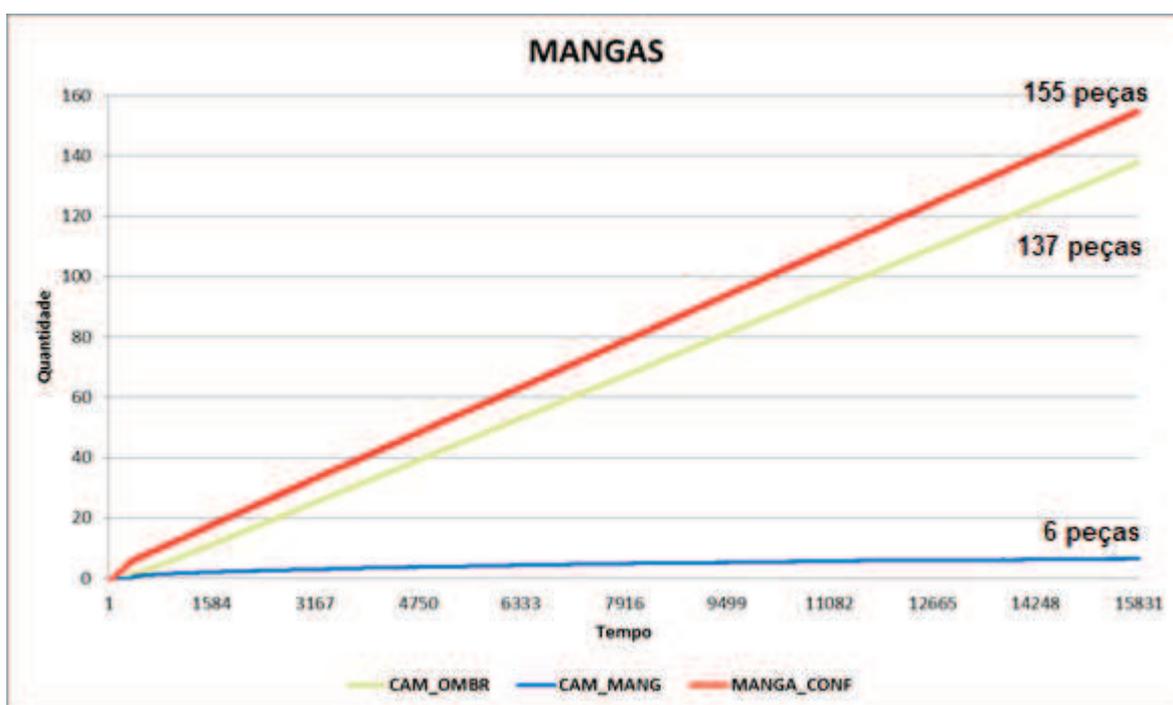


Figura 32 – Consumo e produção de marcas da transição MANGAS.

Observando a Figura 33, podemos confirmar outra atividade em que as quantidades de matéria-prima se acumulam em um ritmo acima da capacidade de produção da transição **FECH_GOLA3**. Ao final do período, os pré-estados (**CAB_GOLA_PESP** e **PE_GOLA_PESP**) marcam 80 e 79 unidades respectivamente, quando as saídas do pós-estado **GOLA_MONT_FECH** são unitárias.

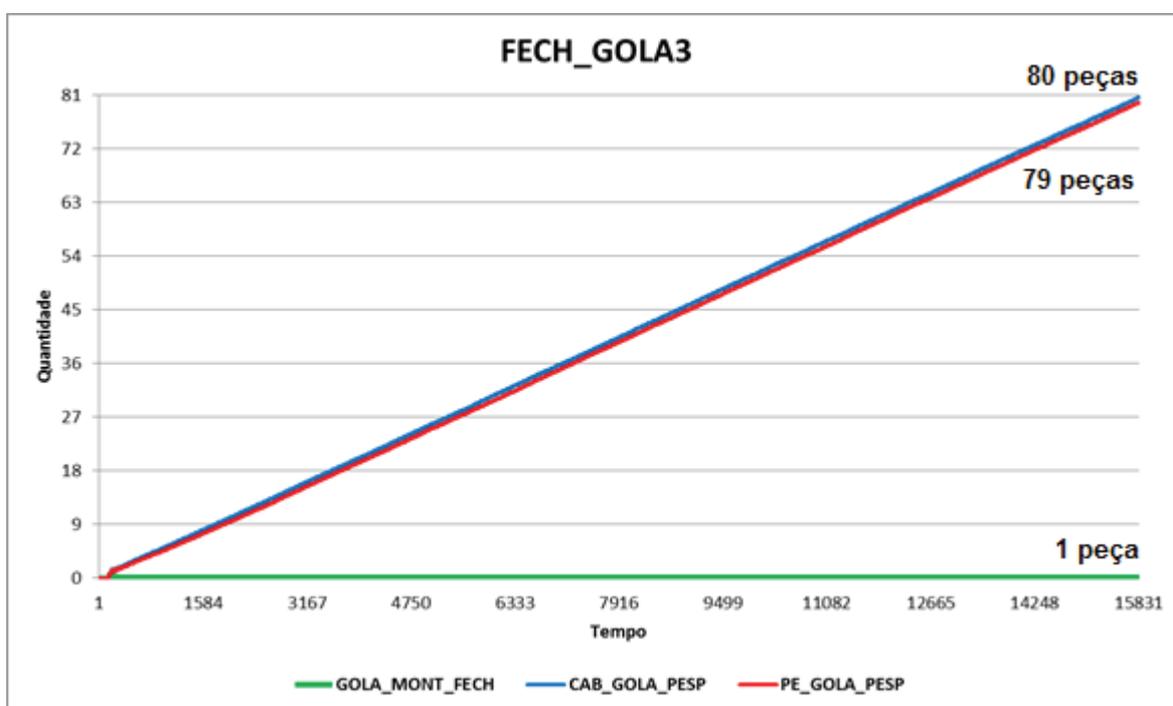


Figura 33 – Consumo e produção de marcas da transição **FECH_GOLA3**.

O comportamento da transição **GOLA1** foi avaliado através da Figura 34, onde se destacam dois pontos. O primeiro é que nesta atividade, somente um dos pré-estados (**GOLA_REV**) apresentou comportamento de acúmulo chegando ao final do turno com 80 peças. O outro pré-estado (**CAM_CETIQ**) apresentou comportamento próximo de unitário. O segundo aspecto importante é que o pós-estado (**CAM_CGOLA**) apresentou comportamento levemente cumulativo ao final do período (27 peças). Esta situação indica

claramente que a próxima transição trabalha em um ritmo mais lento e não consegue absorver rapidamente o volume produzido nesta atividade.



Figura 34 – Consumo e produção de marcas da transição GOLA1.

Ao se analisar a transição MAQ_PLC, responsável pela costura dos acessórios de metal ao corpo da camisa, confirmou-se a formação de um gargalo onde o pré-estado (CAM_CBOTAO) finaliza o turno com 45 peças conforme retratado na Figura 35.

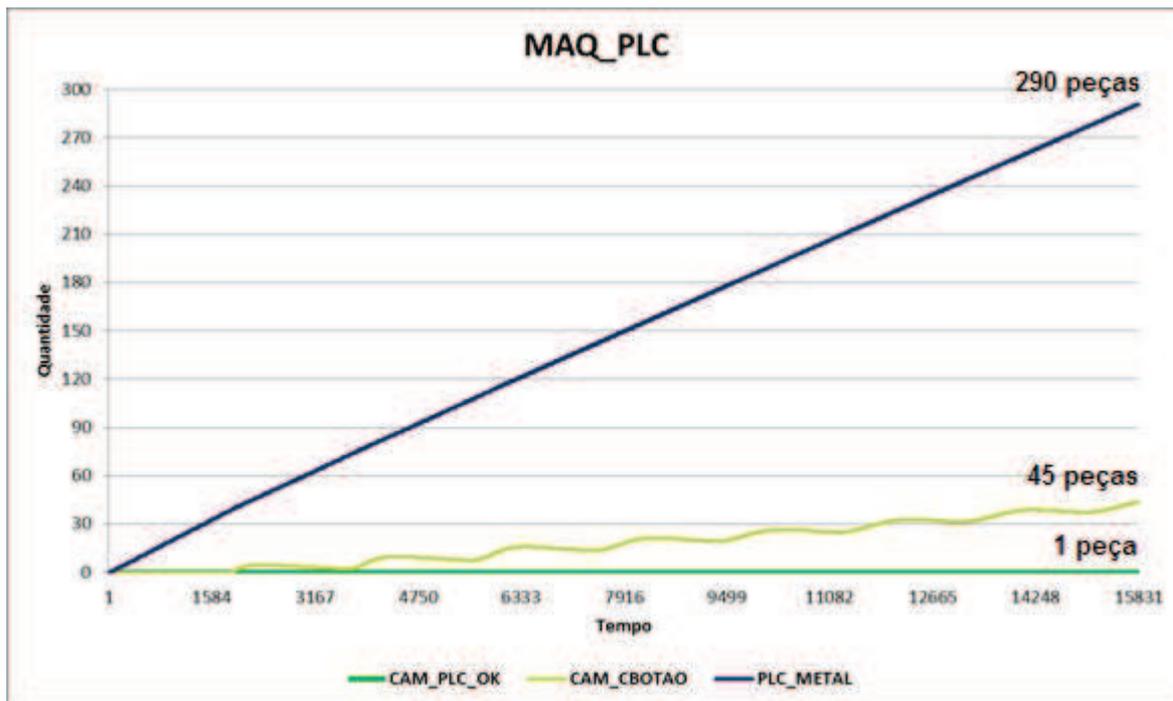


Figura 35 – Consumo e produção de marcas da transição MAQ_PLC.

Apesar do outro pré-estado (PLC_METAL) encerrar o turno com 290 peças, não é visto como um ponto negativo, pois conforme já apontado na seção 5.3, os estados que representam as matérias-primas puras e que estão liberados para uso logo após as atividades de **CONF1** e **CONF2**, não foram considerados gargalos.

Por fim, a Figura 36 apresenta a diferença clara entre o pré-estado (**CAM_FECH_OK**) com acúmulo final de 32 peças e o pós-estado (**CAM_CASA**) com comportamento próximo de unitário na execução da atividade **CASEADO**.

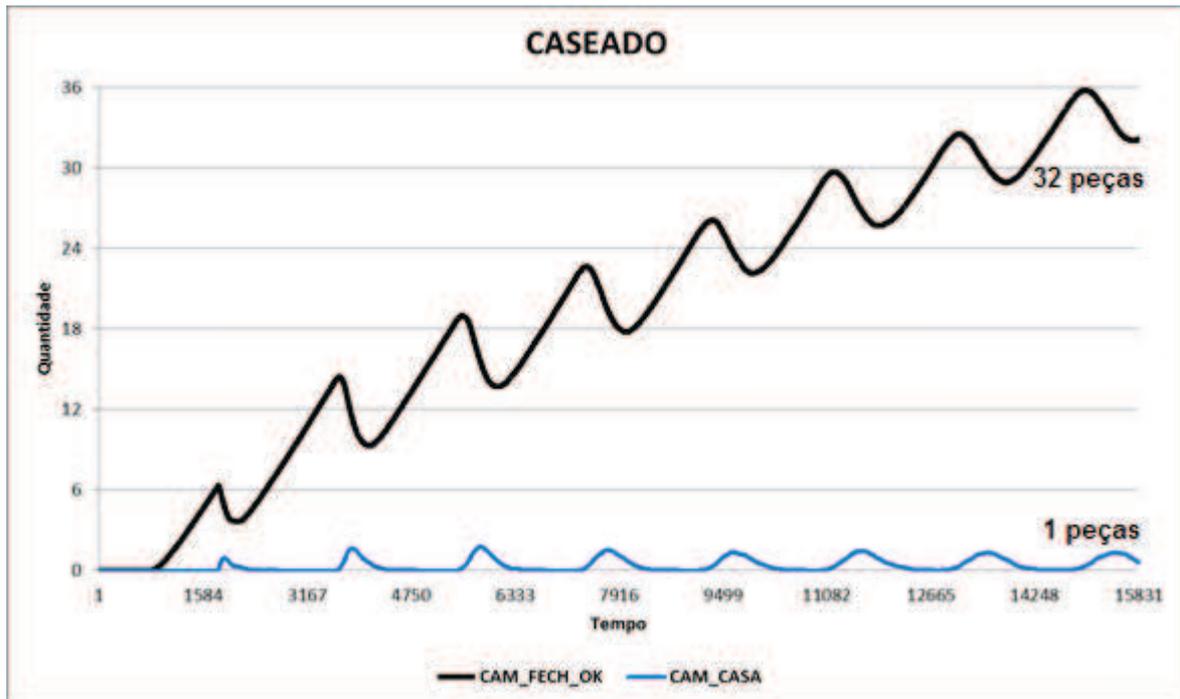


Figura 36 – Consumo e produção de marcas da transição CASEADO.

Sobre a Figura 36 é importante destacar que as variações ao longo do tempo são consequência da velocidade de processamento das atividades da estação CASEADO que é composta por 3 máquinas sendo influenciadas pela atividade manual da estação de MARCAR_BOTÃO, onde trabalha-se com apenas 1 auxiliar de produção que tem atribuições em outras atividades na mesma célula de produção.

5.4. Cenários de simulação estocástica

Nesta segunda parte da simulação estocástica, foram idealizados um total de 14 cenários que correspondem ao objetivo do trabalho e tentam responder se é possível cumprir com os prazos contratados nos pedidos de seus clientes com aumento de produção ao eliminar ou reduzir a incidência ou mesmo os efeitos de gargalos na produção. O

trabalho consistiu em questionar: “...e se aumentarmos a quantidade de máquinas em um gargalo? Qual será o comportamento da rede e qual será o resultado da produção?”.

Para tanto, foram inseridas novas extensões ao nível **N2** junto às estruturas que representam os conjuntos de máquinas em operação nas células do setor de costura e com comportamento de acúmulo de marcações nos pré-estados, conforme apontados na seção 5.5. A Figura 37 mostra com clareza a diferença entre uma sub-rede que representa uma única máquina (Figura 37 (a)) quando comparada à hipótese de expansão do parque de máquinas dentro de uma transição composta (Figura 37 (b)).

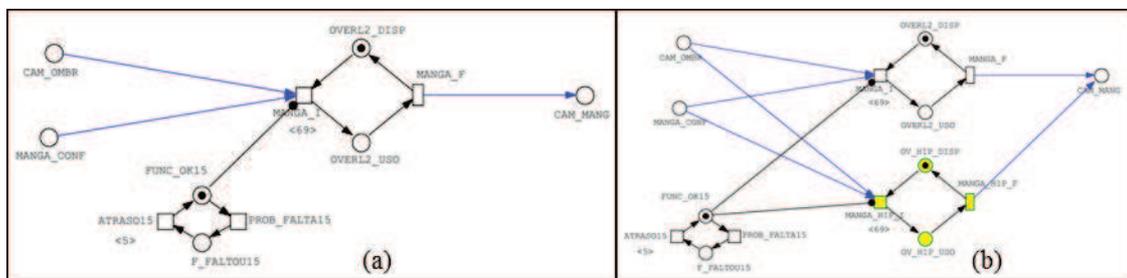


Figura 37 – Sub-rede original com uma máquina x sub-rede com duas máquinas.

- **Cenário 1 – Duas máquinas na transição MANGAS**

Os resultados da simulação não apontaram alterações relevantes no volume de produção final de camisa gola polo, que permaneceu em uma média de 38 peças por turno, o que representa uma produção diária de 76 peças. O fato é que com o acréscimo de uma nova máquina à atividade, o acúmulo passou imediatamente dos pré-estados (CAM_OMBR = 137 peças; MANG_CONF = 155 peças) para o pós-estado (CAM_MANG = 135 peças) indicando a transferência do gargalo para a atividade de fechamento das laterais da camisa, conforme a Figura 38.

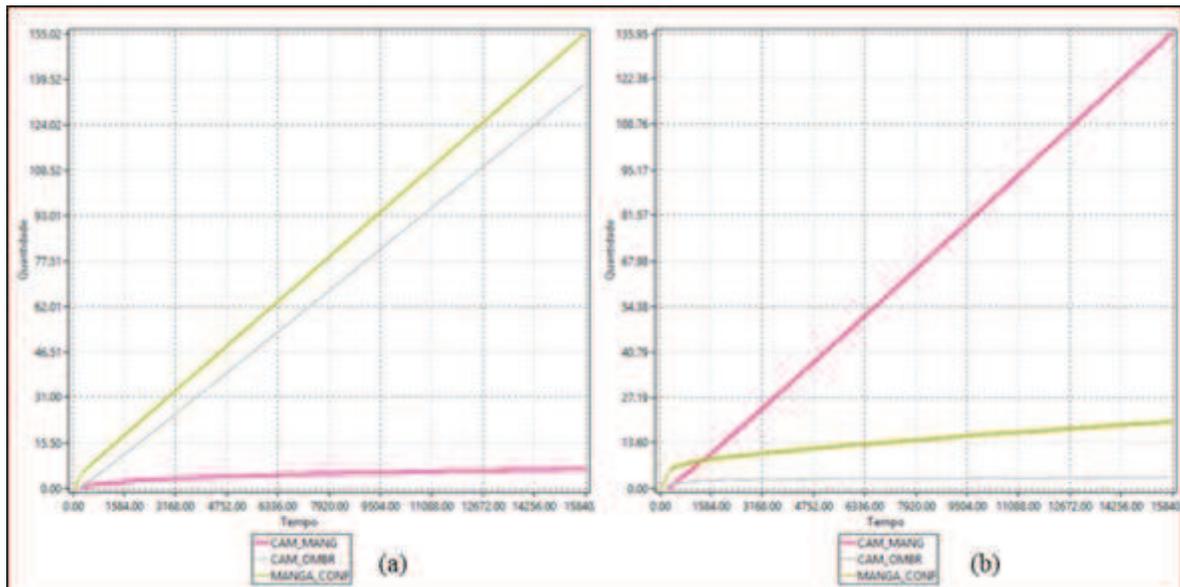


Figura 38 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).

Além disso, o fato mais importante é que a produção final da camisa gola polo permaneceu inalterada com média de 38 peças por turno.

- **Cenário 2 – Duas máquinas na transição FECH_GOLA3**

Os resultados da simulação não apontaram alterações relevantes no volume de produção final de camisa gola polo, que permaneceu em uma média de 38 peças por turno. Aqui, não houve transferência de acúmulo dos pré-estados para o pós-estado, conforme a Figura 39.

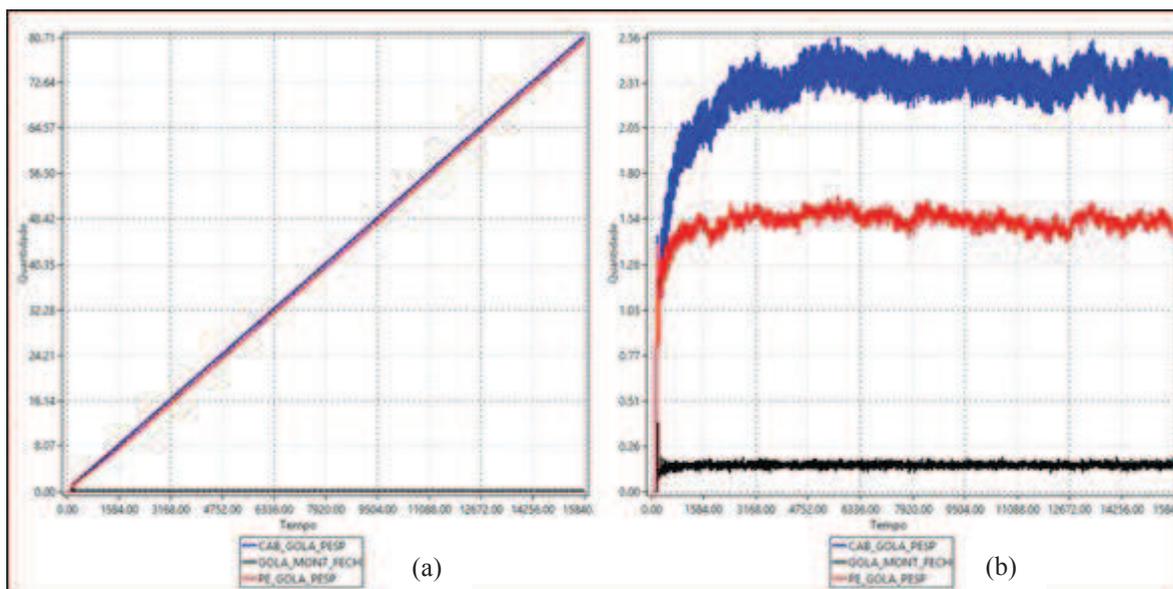


Figura 39 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).

Porém, este comportamento indica que o gargalo foi transferido para outro ponto ao longo da rede. Uma análise mais profunda apontou que o gargalo eliminado nesta transição, migrou para a transição GOLA1, conforme Figura 40.

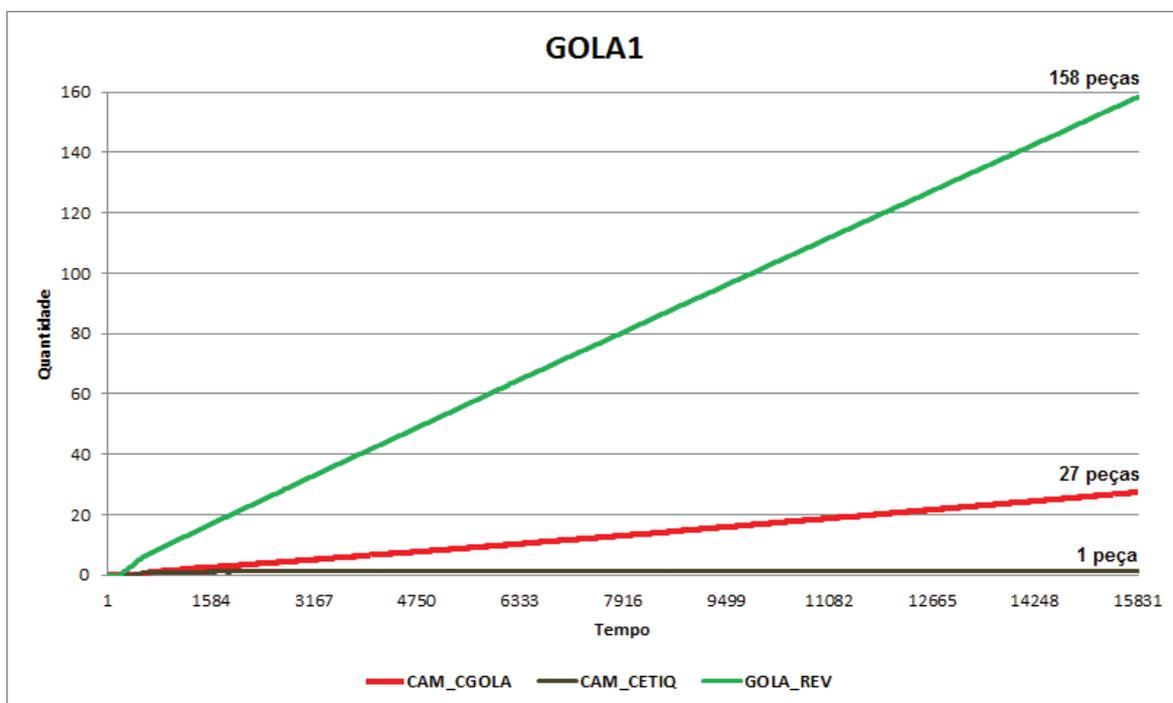


Figura 40 – Novo gargalo na rede reposicionado na transição GOLA1.

- **Cenário 3 – Duas máquinas na transição GOLAI**

Não houve alterações no volume de produção final da camisa gola polo quando acrescida mais uma máquina na transição **GOLAI**, conforme registra a Figura 41, que permaneceu em uma média de 38 peças por turno. Mesmo com o acréscimo de máquina, o comportamento dos pré-estados continua inalterado (**GOLA_REV** = 80 peças; **CAM_CETIQ** = 1 peça). Novamente, o que houve foi uma transferência do gargalo produtivo para atividades posteriores com um pequeno acúmulo de peças no pós-estado (**CAM_CGOLA** = 27 peças).

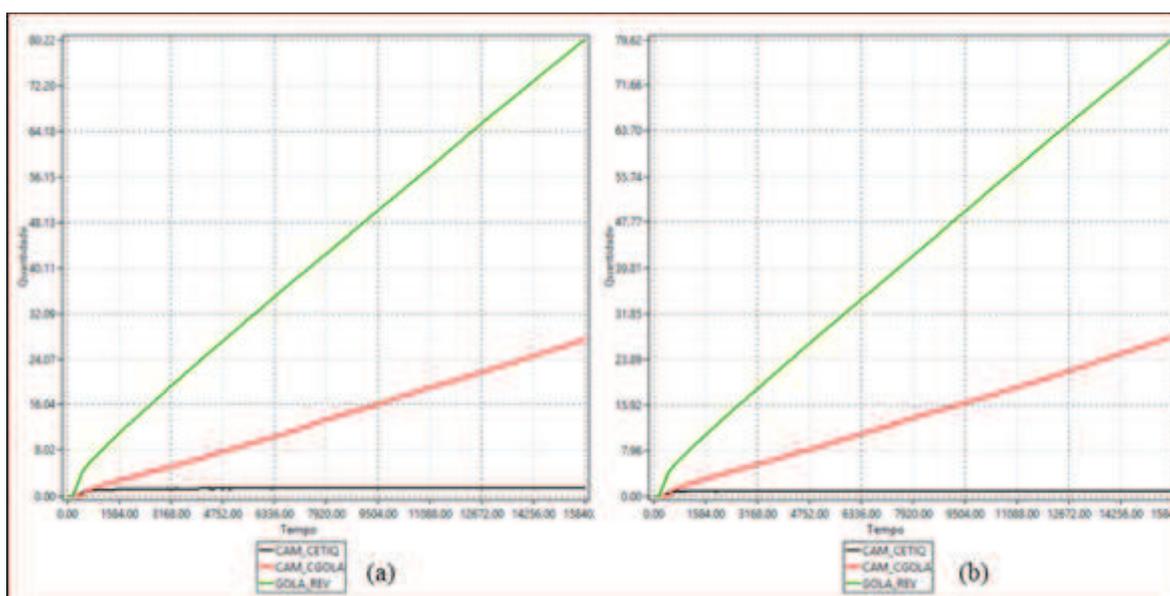


Figura 41 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).

- **Cenário 4 – Duas máquinas na transição MAQ_PLC**

Pela primeira vez, os resultados da simulação apontaram um aumento relevante no volume de produção final de camisa gola polo, que saltou de 38 peças para 61 peças por turno (aumento de 60,52%), apenas com o acréscimo de uma segunda máquina na

atividade de costura de placas de metal à camisa. Esta evolução é compreensível, por se tratar de uma transição localizada ao final da linha de produção da camisa polo, onde os processos subsequentes não consomem grandes tempos para execução e, por consequência, esta nova configuração pode expressar seus resultados com maior facilidade ao volume de produção total.

A evolução pode ser confirmada na Figura 42 com o acúmulo do pré-estado **CAM_CBOTAO** sendo reduzido de 45 peças para 20 peças com o investimento.

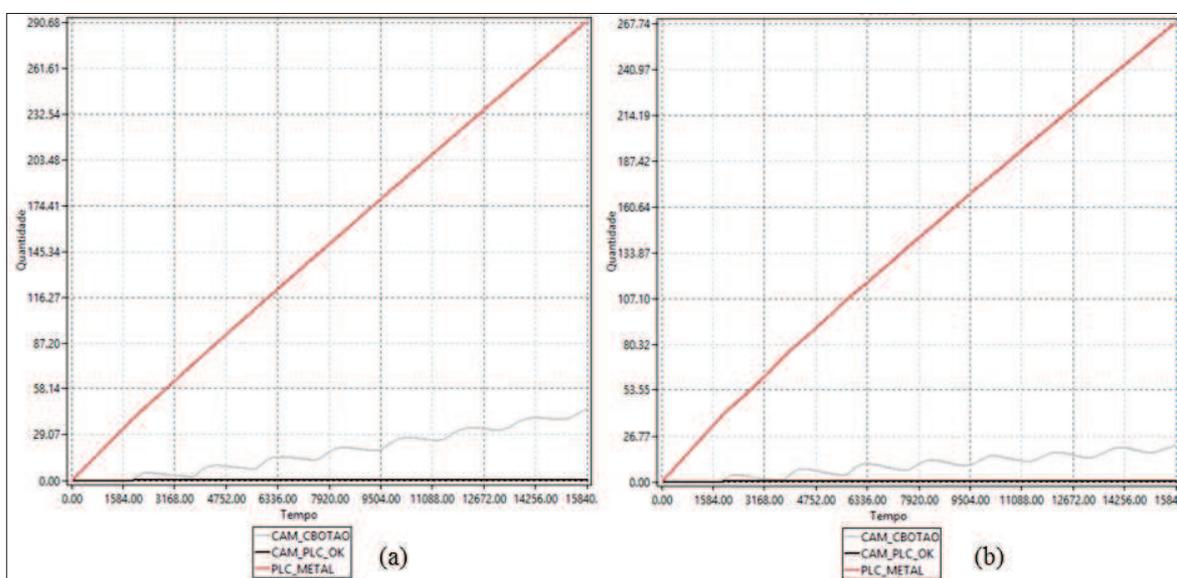


Figura 42 – Resultados: sub-rede com uma máquina (a) x sub-rede com duas máquinas (b).

O efeito positivo da alteração pode ser visualizado com a Figura 43 que compara os valores de produção final da camisa polo.

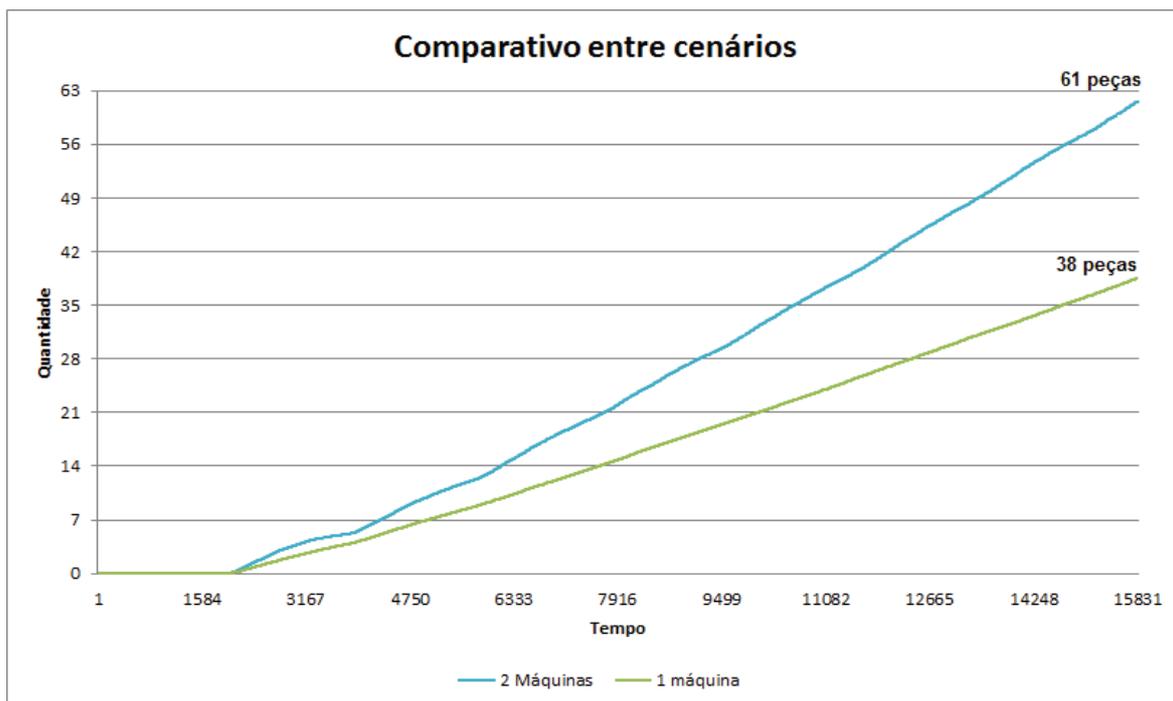


Figura 43 – MAQ_PLC: Produção final com 1 máquina x produção final com 2 máquinas.

Nesta fase de teste de cenários, fez-se a simulação de uma nova configuração com o aumento de uma terceira máquina para a atividade. Porém, os resultados não foram tão satisfatórios quanto o teste anterior, comprovando que nem sempre o simples aumento de equipamentos influencia de forma eficiente no aumento da produção.

Com a inserção de uma terceira máquina de costura na estação, houve aumento de produção final que passou de 38 peças para 69 peças (aumento de 81%), conforme a Figura 44.

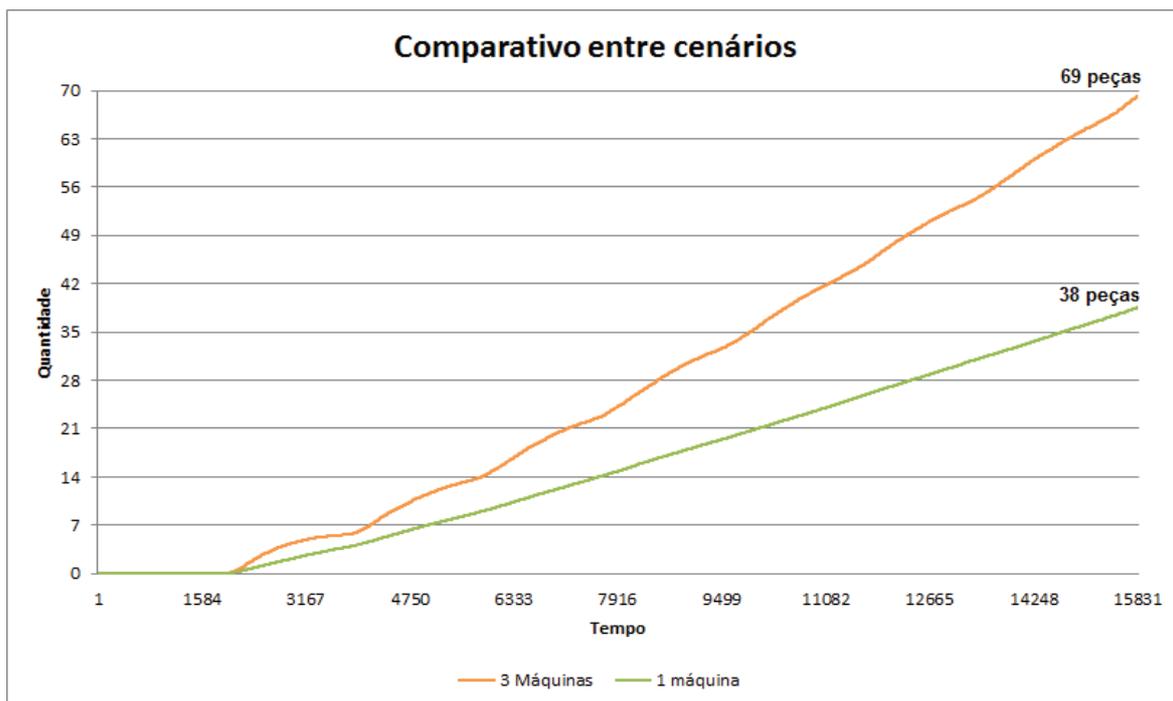


Figura 44 – MAQ_PLC: Produção final com 1 máquina x produção final com 3 máquinas.

- ***Cenário 5 – Quatro máquinas na transição CASEADO***

A atividade de costura das casas dos botões é realizada em uma estação de trabalho que conta com 3 máquinas. Assim, a simulação deste cenário inseriu uma quarta máquina na busca por melhores índices de produção. Porém, o resultado não foi vantajoso, pois a produção final da camisa gola polo passou de 38 peças para 42 peças por turno, conforme registra a Figura 45.

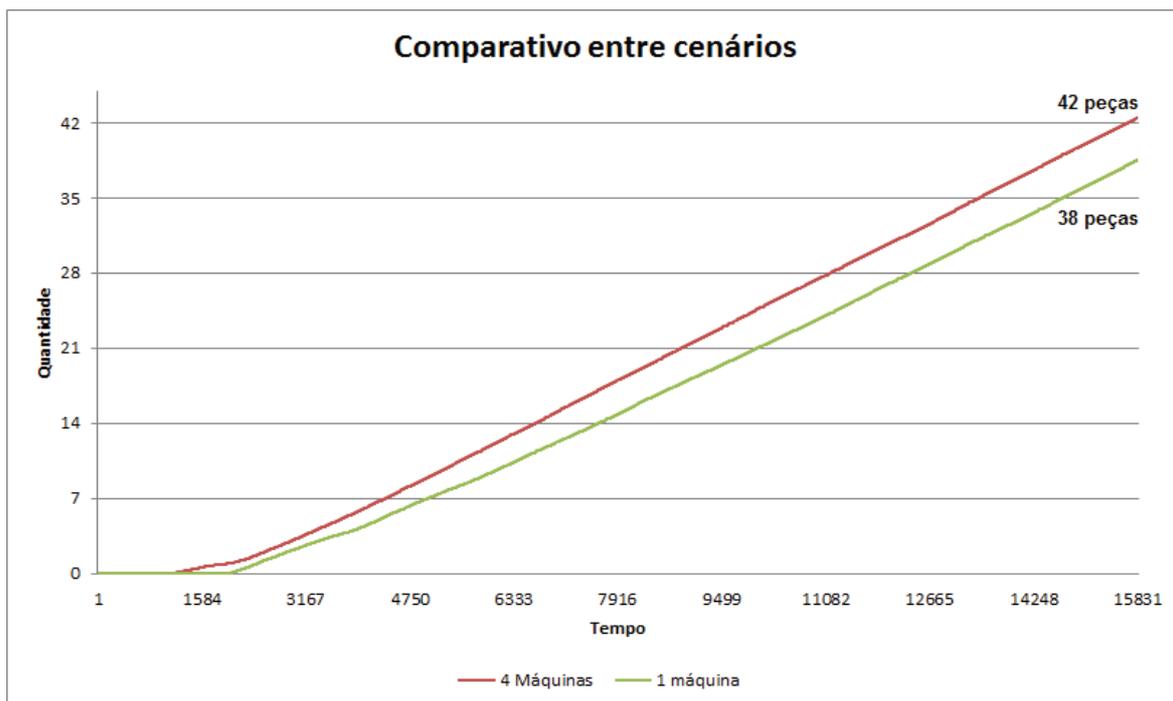


Figura 45 – CASEADO: Produção final com 1 máquina x produção final com 4 máquinas.

- ***Cenários 6, 7, 8, 9, 10 e 11 – Aumento de uma máquina em cada atividade***

Os cenários de número 6 a 11 consistiram em combinações de acréscimo de uma máquina em cada estação de trabalho na seguinte sequência:

- Cenário 6: MANGAS + FECH_GOLA3;
- Cenário 7: MANGAS + GOLA1;
- Cenário 8: MANGAS + LATERAIS;
- Cenário 9: MANGAS + LATERAIS + GOLA1;
- Cenário 10: MANGAS + LATERAIS + GOLA1 + GOLA2;
- Cenário 11: MANGAS + LATERAIS + GOLA1 + GOLA2 + BARRA.

Porém, todos apresentaram o mesmo resultado final, sempre apontando uma produção de camisa polo de 38 peças por turno.

- **Cenário 12 – Acréscimo de uma máquina em cada uma das transições (Mangas + Laterais + Gola1 + Gola2 + Barra + Caseado + Maq_Plc)**

Foram inseridas no modelo, uma máquina em cada uma das estações citadas na tentativa de fazer fluir a produção em maior quantidade. Com o alto investimento em número de máquinas (7 equipamentos), o volume de produção ao final da linha saltou de 38 peças/turno para 71 peças por turno, conforme o relatório da simulação apresentado na Figura 46.

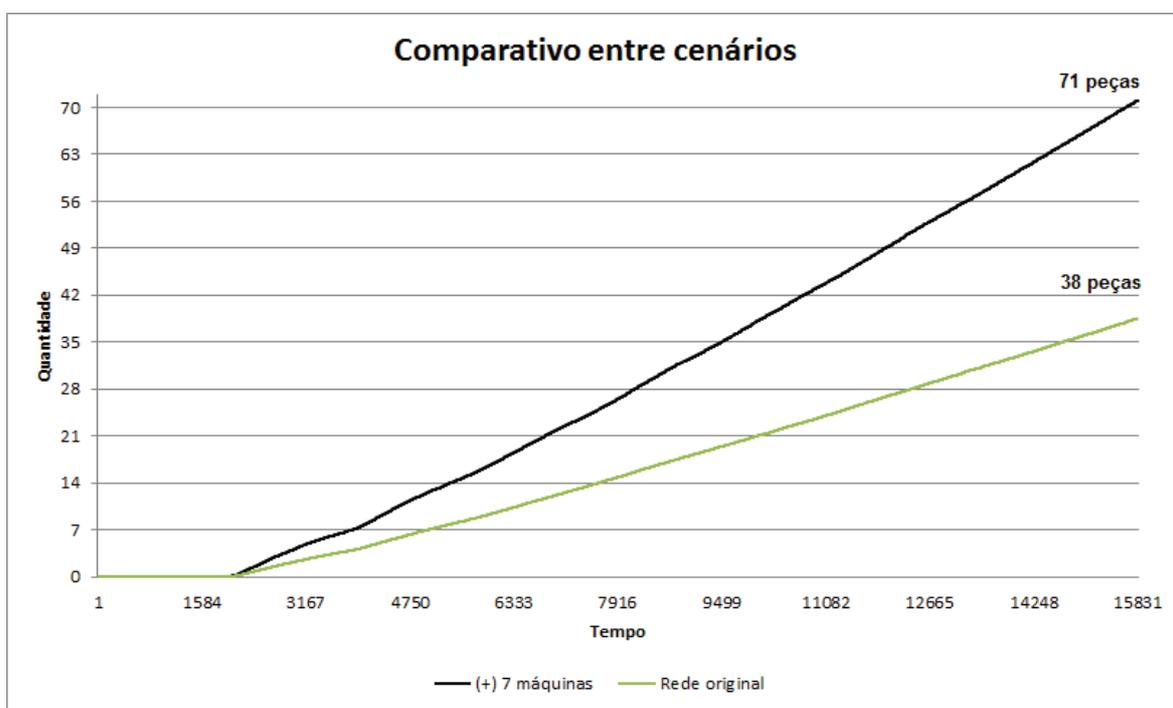


Figura 46 – Produção final original x produção final adicionando 7 máquinas distribuídas ao longo da rede.

- **Cenário 13 – Acréscimo de duas máquinas (2 MAQ_PLC + 4 CASEADO)**

Outra configuração testada foi a de acrescentar duas máquinas ao final da linha de produção, sendo uma máquina na estação de costura das placas de metal (MAQ_PLC) que

passaria a trabalhar com dois equipamentos. E outra máquina acrescida à estação de costura das casas dos botões (**CASEADO**) que trabalharia com quatro máquinas.

Esta configuração trouxe ganhos de produtividade significativos com um aumento de produção da ordem de 68%, elevando o número de camisas entregues de 38 para 64 peças/turno, conforme verificado na Figura 47.

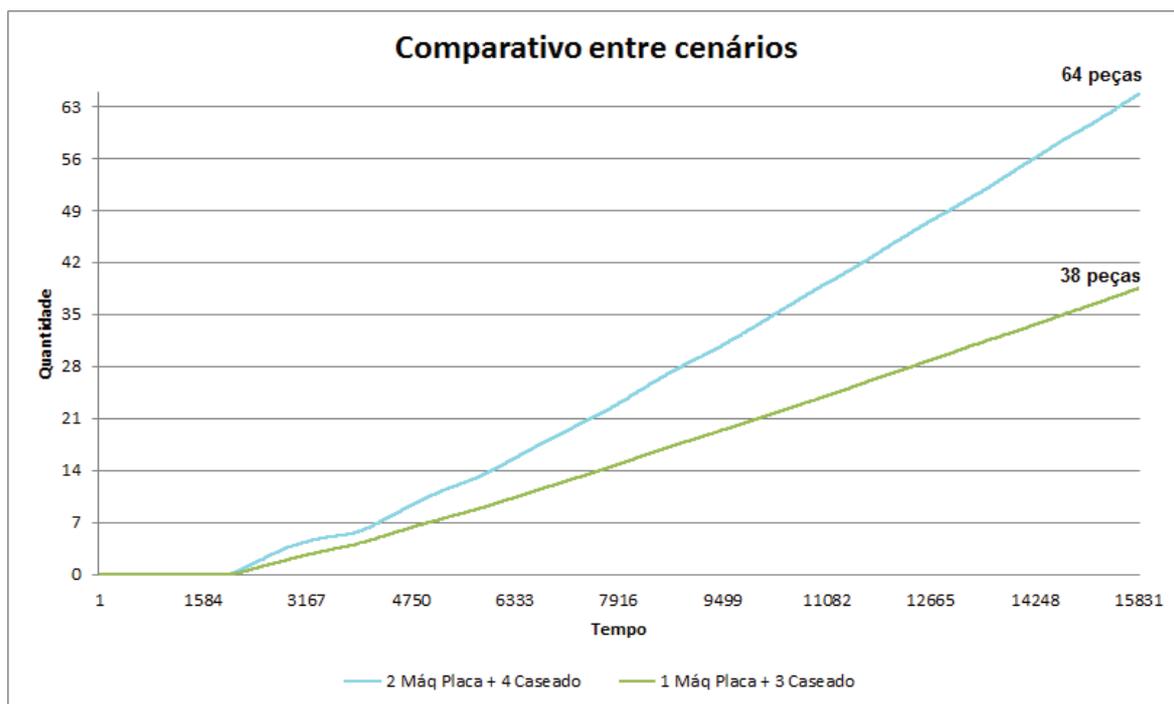


Figura 47 – Produção final original x produção com acréscimo 2 máquinas.

- **Cenário 14 – Acréscimo de três máquinas (3 MAQ_PLC + 4 CASEADO)**

Um último cenário testado foi o acréscimo de três máquinas na penúltima célula da linha de produção (Célula 5 – Caseado/Botão, conf. Figura 13, Capítulo 4), sendo duas máquinas na estação de costura das placas de metal (**MAQ_PLC**) que passaria a trabalhar com três equipamentos. E outra máquina acrescida à estação de costura das casas dos botões (**CASEADO**) que trabalharia com quatro máquinas.

Esta configuração se mostrou a mais produtiva entre todos os 14 cenários, pois acrescenta apenas 3 equipamentos que geram um aumento de produtividade da ordem de 102%, elevando o número de camisas entregues de 38 para 77 peças/turno, conforme verificado na Figura 48.

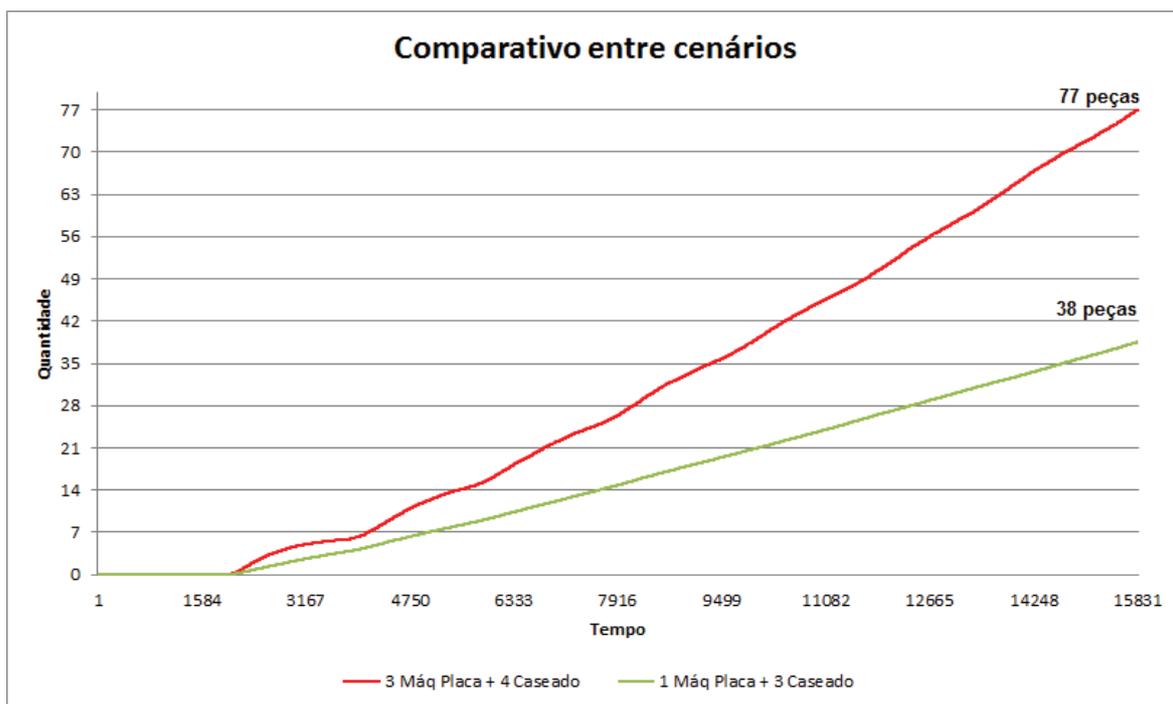


Figura 48 – Produção final original x produção com acréscimo de 3 máquinas.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo analisar especificamente o processo de produção de uma camisa gola polo em uma empresa do setor de confecção de vestuário no Polo Empresarial Goiás em Aparecida de Goiânia. Para a realização desta tarefa, avaliou-se o processo de manufatura através da modelagem do processo produtivo e da simulação de diferentes cenários na busca por gargalos para assim, apontar soluções que possam melhorar a eficiência da produção.

O trabalho atestou a eficiência do uso do formalismo de redes de Petri para modelar e simular cenários de produção dentro de uma indústria de confecções, buscando responder se é possível cumprir com os prazos contratados nos pedidos de seus clientes. Com isso, foi possível compreender e representar todos os processos que envolvem a complexa fabricação do produto em estudo, destacando as atividades em sequência, em paralelo, assíncronas e concorrentes.

Utilizou-se a classe QPN – Rede de Petri Qualitativa para a compreensão e construção do modelo e sua extensão SPN – Rede de Petri Estocástica para a inserção dos tempos médios de duração de cada atividade, além das probabilidades de falhas de máquinas e de absenteísmo baseado no *software* gráfico Snoopy. A análise da rede à sombra das propriedades comportamentais e estruturais foi realizada com o *software* Charlie.

Através da simulação de sistemas, foi possível destacar as situações de acúmulo de produtos entre algumas estações de trabalho (gargalos da produção) com destaque para a maior incidência destas situações na célula 4 (COSTURA). Foram gerados vários cenários possíveis e após a simulação destes, foi possível identificar uma solução que pudesse

acrescentar melhorias ao volume de produção do item em estudo sem que haja a necessidade de grandes investimentos ou mesmo grandes alterações estruturais.

Ao simular cenários com a ampliação de uma única máquina a cada ponto de gargalo da produção, concluiu-se que a atividade que promove o maior aumento de produtividade aliada ao menor nível de investimentos é a estação **MAQ_PLC** posicionada na célula 5 (cenário 4 da simulação). Esta estação foi simulada com o aumento de uma única máquina e proporcionou um aumento de 60,52% no nível de produtividade.

Também, através da simulação foi possível comprovar que o simples aumento do número de equipamentos em um gargalo pode solucionar o problema do acúmulo de produtos imediatamente anterior à atividade, porém, ou não promove aumento significativo da produção ou não garante um maior volume de produção final. Nestes casos, há apenas uma transferência do local do gargalo, que passa para um ponto subsequente no sistema, conforme relatado nos cenários 4 e 5.

Ao final da simulação dos vários cenários chegou-se a conclusão que a melhor opção de configuração parque de máquinas do ponto de vista custo x benefício é a apresentada no cenário 14, onde há o aumento de 3 máquinas, sendo 1 na estação de **CASEADO** e 2 máquinas na estação **MAQ_PLC**. Esta configuração permitiu uma evolução da ordem de 102,63% no número de camisas gola polo produzidas ao final de um turno.

Desta forma, comprova-se inclusive, a possibilidade de utilização do formalismo de redes de Petri e da ferramenta Snoopy em estudos de viabilidade ou melhoria de processos, de capacidade produtiva e em projetos de investimentos onde o uso de modelagem e simulação apresenta a vantagem de gerar cenários possíveis sem a necessidade de interferência física no sistema real ou da realização de investimentos e custos com equipamentos e mão de obra com incertezas sobre a produtividade.

Por fim, o uso da modelagem e simulação de sistemas colocou luz à necessidade da criação de processos de controle mais rígidos e acurados (como a criação de KPI's⁸ - *Key Performance Indicator*), voltados para as atividades e processos do setor de costura visando um melhor controle da produtividade.

Assim, este trabalho contribui para o estado da arte no campo da Engenharia da Produção ao apontar a praticidade e a eficiência do uso das técnicas de modelagem e simulação de sistemas baseado no formalismo de redes de Petri, utilizando uma ferramenta versátil, confiável e de fácil manuseio.

Porém, algumas dificuldades não foram superadas em razão do baixo nível de controles gerenciais relativos aos processos produtivos. Neste sentido, ainda que alguma informação gerada pelo processo de simulação não consiga refletir a realidade com exatidão, o trabalho comprovou que os modelos determinístico e estocástico funcionam coerentemente de acordo com o sistema real, em termos de padrão de comportamento. Os resultados apresentados pelos modelos são semelhantes, em termos de linearidade e ascendência para o caso do modelo determinístico, e curvilíneo no modelo estocástico, o que reforça a utilidade do formalismo e da ferramenta empregados.

Assim, recomenda-se para efeito de estudos futuros, a possibilidade de exploração de outras combinações do arranjo produtivo, inserindo probabilidades (hipóteses) de zero absenteísmo (melhor caso), de absenteísmo de dois operadores de máquinas (pior caso), de absenteísmo para todas as atividades realizadas no setor, de falta de matéria-prima, de tratamento de defeitos nas peças (*recall*), de quebras de sequência produtiva por queda de

⁸ KPI - *Key Performance Indicator* ou Indicadores Chave de Desempenho, segundo PARMENTER (2007) é a combinação de um ou mais indicadores que representam um conjunto de medidas com foco nos aspectos mais importantes para o desempenho e realização dos objetivos de uma organização, de forma satisfatória. Disponível em: pro-u4ot.info/files/books/finance/Key_Performance_Indicators.pdf Acessado em: 07 de outubro de 2018.

energia ou por diversas outras razões, demonstrando as consequências para a eficiência da produtividade.

Especificamente sobre o tema absenteísmo, os modelos simulados calculam apenas a simples reposição imediata da figura do único colaborador faltante na operação da máquina, mas não o possível remanejamento de um funcionário de outra atividade ociosa ou com menor carga de trabalho ao longo da produção. Isto permite trabalhos com a otimização dos recursos (mão de obra) com a consideração do problema clássico do “jantar dos filósofos” onde o problema corresponde à movimentação (remanejamento) de um funcionário de uma máquina para suprir a falta (absenteísmo) de outro colaborador em outra máquina e quais as consequências para o resultado global da produção.

Outros aspectos recomendáveis para serem abordados em novos estudos são o levantamento minucioso dos custos inerentes a cada atividade para que se possa avaliar o rendimento da produção respondendo, por exemplo, qual o custo unitário por peça, a realização de simulação e comparação dos dados com os dados de outros produtos mais complexos que envolvam um maior número de atividades de transformação, além do uso destas técnicas para estudos em outros ramos da indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. *Indústria Têxtil e de Vestuário*: Estudo sobre como as empresas brasileiras nos diferentes setores industriais acumulam conhecimento para realizar inovação tecnológica. In: Estudos Setoriais de Inovação, 2009. Belo Horizonte: ABDI, 2009. Disponível em: www.abdi.com.br/Paginas/estudo.aspx?f=Têxtil%20e%20Confecção. Acessado em: 01 de agosto de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TEXTIL. *Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira*: Cenários, desafios, perspectivas e demandas. 2013. Brasília: ABIT, 2013. Disponível em: http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf. Acessado em: 02 de fevereiro de 2017.

_____. *O Poder da Moda*: Cenários, desafios, perspectivas. 2015. São Paulo: ABIT, 2015. Disponível em: http://www.abit.org.br/conteudo/links/poder_moda-cartilhabx.pdf. Acessado em: 02 de fevereiro de 2017.

ABRANCHES, G. P.; BRASILEIRO JUNIOR, A.. *Manual da gerência de confecção*: a indústria de confecções de estrutura elementar. v. 1. Rio de Janeiro: SENAI/CETIQT, 1996.

AALST, W. M. P. V., *Putting Petri nets to work in Industry*. Computers in Industry, 25(1), p. 45-54, 1994.

AALST, W. M. P. V., *A class of Petri net for modeling and analyzing business processes*. Computing Science Reports, v. 95, p. 26, 1995.

AALST, W. M. P. V., HEE, K. M., HOUBEN, G. J. *Modelling and analysing workflow using a Petri-net based approach*. In: Proceedings of the second Workshop on Computer-Supported Cooperative Work, Petri nets and related formalisms. Of, 1994. P. 31-50.

ARANTES, M. G. *Modelagem e análise de linha de montagem de calçados*. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, março, 2006. Disponível em: http://files.dirppg.ct.utfpr.edu.br/cpgei/Ano_2006/dissertacoes/Dissertacao_390_2006.pdf. Acessado em: 27 de agosto de 2017.

BALLOU, Ronald H. *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. 1. ed. – São Paulo: Atlas, 2008.

BALBO, G. *Introduction to stochastic Petri Nets*. In: Lectures on Formal Methods and Performance Analysis. Springer Berlin Heidelberg, 2001. p. 84-155. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.130.1476&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em: 27 de março de 2017.

BAUSE, F; KRITZINGER, P. S. *Stochastic Petri nets: An introduction to the theory*. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, v. 26, n. 2, p. 2-3, 1998. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/258705007_bause_kritzinger_spn_book_print. Acessado em 05 de fevereiro de 2017.

BAUSE, F.; KRITZINGER, P. S.. *Stochastic Petri Nets - An Introduction to the Theory*, Springer, 2002. Disponível em: http://ls4-www.cs.tu-dortmund.de/cms/de/home/bause/bause_kritzinger_spn_book_print.pdf. Acessado em: 20 de março de 2017.

BARAD, M. *Petri Nets – A Versatile Modeling Structure*. Applied Mathematics, 2016, 7, 829-839, 2016. Disponível em: http://file.scirp.org/pdf/AM_2016052613411594.pdf. Acessado em: 05 de agosto de 2017.

BARROS, T. C.; SANTOS, E. J. P.; MELO, I. L. *Sistemas de produção em lotes: modelagem e análise com base em redes de Petri T-temporizadas e equações diferenciais*. In: Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente. VI, Bauru, setembro de 2003, 2003.

BASTOS, V. *Estudo da competitividade da indústria brasileira: competitividade da indústria de vestuário – nota técnica setorial*. Campinas: IE/Unicamp, 1993a. Disponível em: https://www.faneesp.edu.br/site/documentos/estudo_competitividade_industria_brasileira_a23.pdf. Acessado em: 15 de maio de 2017.

BECKER, J; ROSEMAN, M; VON UTHMANN, C. *Guidelines of business process modeling*. In: Business Process Management. Springer Berlin Heidelberg, 2000. p. 30-49. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.10.5073&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em: 15 de fevereiro de 2017.

BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; CROSTA, A.; MAZZUTO, G.; PACIAROTTI, C.. *Designing an Efficient Production System: A Case Study of a Clothing Company*. International Journal of Engineering Business Management, v. 5, p. 36, 2013. Disponível em: <http://hrcak.srce.hr/160978?lang=en>. Acessado em: 20 de março de 2017.

BIERMANN, M. J. E. *Gestão do processo produtivo*. – Porto Alegre: SEBRAE/RS, 2007. Disponível em: [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4D917E1B8D6C668F8325745700482839/\\$File/NT00037982.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/4D917E1B8D6C668F8325745700482839/$File/NT00037982.pdf). Acessado em: 10 de janeiro de 2017.

BLACK, J. T.; SCHROER, B. J. *Simulation of an apparel assembly cell with walking workers and decouplers*. Journal of Manufacturing Systems, v. 12, n. 2, p. 170-180, 1993. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/027861259390016M>. Acessado em 20 de março de 2017.

BLAGA, F., HULE, V., BODEA, R., STANASEL, I. *Evaluation of the textile industry fabrication lines performances using petri networks models*. ANNALS OF THE ORADEA UNIVERSITY Fascicle of Management and Technological Engineering ISSUE #3, DECEMBER 2013. Disponível em: http://imtuoradea.ro/auo.fmte/files-2013-v3/Blaga_Oradea_2013.pdf. Acessado em 20 de junho de 2017.

BLÄTKE M., HEINER M., MARWAN W. *Tutorial Petri Nets in Systems Biology*. Magdeburg, 2011. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=66F9187E9781D1ABCB6807BF4FB45E68?doi=10.1.1.410.975&rep=rep1&type=pdf>. Acessado em 05 de março de 2017.

BLOS, M. F. *A importância das redes de Petri no ensino de automação no Brasil*. DOMUS; Revista Tecnológica do CETEP Curitiba, V.1, N.1 (Junho a Dezembro de 2016). Curitiba/PR. 2016. Disponível em: <http://cetepensino.com.br/importancia-das-redes-de-petri-no-ensino-de-automacao-no-brasil/>. Acessado em: 26 de março de 2017.

BOZEK, A. *Using timed coloured Petri Nets for modelling, simulation and scheduling of production systems*. Production Scheduling, Prof. Rodrigo Righi (Ed.), ISBN: 978-953-307-935-6, InTech. 2012. Disponível em: <https://www.intechopen.com/books/production-scheduling/using-timed-coloured-petri-nets-for-modelling-simulation-and-scheduling-of-production-systems>. Acessado em 05 de maio de 2017.

CAUCHICK MIGUEL, P.A. (org.). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

CARDOSO, J., VALETTE, R. *Redes de Petri*. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 1997, 212p. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~bruno/uploads/Lectures/Cardoso1997.pdf>. Acessado em 03 de fevereiro de 2017.

CARVALHO, R.V. *Computational Modeling of Mycobacterium Infection and Innate Immune Response in Zebrafish*, 2015. Disponível em: <https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/35896/2015ThesisCarvalho.pdf?sequence=17>. Acessado em 05 de maio de 2017.

CASTRO, S. D.; BRITO, L. *Dinâmica Produtiva da Indústria de Confeções de Vestuário em Goiás*. Conjuntura econômica, Goiânia, n. 7, p. 20-27, fev. 2006. Disponível em: <http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj7/05.htm>. Acessado em: 28 de fevereiro 2017.

CASTRO, S. D. *O arranjo produtivo de confeções da região de Jaraguá-GO*. Goiânia: SEBRAE, 2004. Disponível em: http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj7/05.htm#_ftnref3. Acessado em: 04 maio 2017.

CHEN, J.; LIU, Z.; ZHU, S.; WANG, W.. *Design of limited-stop bus service with capacity constraint and stochastic travel time*. Transportation research part E: logistics and transportation review, v. 83, p. 1-15, 2015.

CHIAVENATO, I. *Administração de materiais*: uma abordagem introdutória / Idalberto Chiavenato – Rio de Janeiro: Elsevier, 2005 – 3ª reimpressão.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*: Teoria e Aplicações. 2. ed. São Paulo: Editora dos Autores, 2010.

CPNET. *Industrial Use*. Department of Computer Science. Aarhus University. Disponível em: <http://cs.au.dk/cpnets/industrial-use/>. Acessado em: 02 de fevereiro de 2017.

DAVID, R; ALLA, H. *Petri nets for modeling of dynamic systems: A survey*. Automatica, v. 30, n. 2, p. 175-202, 1994. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0005109894900248>. Acessado em 03 de fevereiro de 2017.

DAVID R, ALLA H. *Discrete, continuous and hybrid Petri nets*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg; 2005. Disponível em: <http://staff.ustc.edu.cn/~wangl/download/HPNets.pdf>. Acessado em 03 de fevereiro de 2017.

DE LIMA, V. C., ANHOLON, R., RAMPASSO, I. S., QUELHAS, O. L. G.. *Aplicação da teoria das filas em serviços bancários*/Application of queuing theory in banking. Revista Produção Online, v. 16, n. 1, p. 210, 2016.

DESEL, J; ESPARZA, J. *Free choice Petri nets*. Cambridge university press, 2005. Disponível em: <https://www7.in.tum.de/~esparza/fcbook-middle.pdf>. Acessado em: 03 de fevereiro de 2017.

DESEL, J; JUHÁS, G. *“What Is a Petri Net?” Informal Answers for the Informed Reader*. In: Unifying Petri Nets. Springer Berlin Heidelberg, 2001. p. 1-25.

DICESARE, F.; HARHALAKIS, G.; PROTH, J. M.; SILVA, M. *Practice of Petri nets in manufacturing*, Chapman & Hall, Londres, 1993.

ERYURUK, S. H.; KALAOGLU, F.; BASKAK, M. *Assembly line balancing in a clothing company*. Fibres & Textiles in Eastern Europe, n. 1 (66), p. 93--98, 2008.

FAVARETTO, F.; DROHOMERETSKI, E.. *Análise de Problemas no Controle de Estoque Decorrentes de Erros nos Registros de Saída*. In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, XIV, 2011, São Paulo. Anais... São Paulo: FGV-EAESP, 2011.

FEHLING, R. *A concept of hierarchical Petri nets with building blocks*. In: International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Springer, Berlin, Heidelberg, 1991. p. 148-168.

FERNANDES, L. J.; RODRIGUEZ, L. A. O.; CORREIA, A. R.; MARINS, F. A. S.. *Planejamento e controle da produção de cilindros para laminação*: um estudo de caso quantitativo. Produção, v. 23, n. 1, p. 120-135, jan./mar. 2013.

FRANZKE, A. *Charlie 2.0 - A Multithreaded Petri Net Analyzer*. Master's thesis, Brandenburg University of Technology at Cottbus, CS Dep., 2009. Disponível em: http://www-dssz.informatik.tu-cottbus.de/publications/master-theses/franzke_da_2009. Acessado em 17 de dezembro de 2017.

FREITAS, D. *Fagulhas pontas de agulha*. O Popular, 2016. Disponível em: http://www.onlineclipping.info/imagens/upload/2016/08/14/15/1/14.08.2016_O-Popular_Fagulhas-pontas-de-agulha.jpg. Acessado em: 12 de abril de 2017.

FUJITA, R. M. L.; JORENTE, M. J.. *A Indústria Têxtil no Brasil*: uma perspectiva histórica e cultural. ModaPalavra e-periódico, n. 15, p. 153-174, 2015.

GILBERT, D.; HEINER, M.; LEHRACK, S. *A unifying framework for modelling and analysing biochemical pathways using Petri nets*. In Proc. CMSB 2007 pages 200-216. LNCS/LNBI 4695, Springer, 2007.

GIRAULT, C.; VALK, R. *Petri nets for systems engineering: a guide to modeling, verification, and applications*. Springer Science & Business Media, 2003. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/0f17/51ab61950ffe587dbc833a17a22ef2b56038.pdf> Acessado em: 10 de abril de 2017.

GU, T.; BAHRI, P. A. *A survey of Petri net applications in batch processes*. Computers in Industry, v. 47, n. 1, p. 99-111, 2002.

GÜNER, M. G.; ÜNAL, C. *Line balancing in the apparel industry using simulation techniques*. Fibres & Textiles in Eastern Europe, v. 16, n. 2, p. 75-78, 2008.

HEINER, M.; RICHTER, R., SCHWARICK, M.; ROHR, C. *Snoopy-A Tool to Design and Execute GraphBased Formalisms*. Petri Net Newsletter 74:8–22, 2008.

HEINER, M.; DONALDSON, R.; GILBERT, D. *Petri Nets for Systems and Syntetic Biology*, chapter 3, pages 61–97. Jones & Bartlett Learning, LCC, 2010.

HEINER M., GILBERT D. *How might Petri nets enhance your systems biology toolkit*. In: Kristensen LM, Petrucci L (eds) Lecture Notes in Computer Science. Springer, pp 17–37, 2011.

HEINER, M.; HERAJY, M.; LIU, F.; ROHR, C.; SCHWARICK, M. *Snoopy – A unifying Petri net tool*. Lecture Notes in Computer Science 7347:398–407, 2012.

HEINER, M.; SCHWARICK, M.; WEGENER, J. *Charlie* – an extensible Petri net analysis tool; In Proc. PETRI NETS 2015, Brussels, Springer, LNCS, volume 9115, pp. 200–211, June 2015 (e-link). Disponível em: <http://www-dssz.informatik.tu-cottbus.de/DSSZ/Software/Charlie#download>. Acessado em: 17 de janeiro de 2018.

JONES, S. J.. *Fashion design* – Manual do Estilista. Tradução de Iara Biderman. São Paulo: COSAC NAIFY, 2005.

JUNQUEIRA, F.; MIYAGI, P. E. Modelagem e simulação distribuída de sistema produtivo baseado em rede de Petri. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automática, Natal, v. 20, n. 1, pp. 1-19, Mar. 2009. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592009000100001.

Acessado em 15 de janeiro de 2017.

KAID, H.; EL-TAMIMI, A. M.; NASR, E. A.; AL-AHMARI, A. *Applications of Petri nets Based Models in Manufacturing Systems: A Review*. In: Proceedings of the 2015 International Conference on Operations Excellence and Service Engineering Orlando, Florida, USA, September 10-11, 2015.

LEITE, M. S. A. *Proposta de uma modelagem de referência para representar sistemas complexos*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2004. Orientador Antonio Cezar. Bornia. – Florianópolis, 2004.

LIDÓRIO, C. F. *Tecnologia da confecção*. Araranguá: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2008. Apostila. Disponível em: https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/archive/7/73/20080728134958!Apostila_tecnologia_cris.pdf. Acessado em: 10 de janeiro de 2017.

LIU, F., HEINER, M.: *Petri Nets for Modeling and Analyzing Biochemical Reaction Networks*, cap. 9, pag. 245–272. Springer, 2014.

LIU, F.; HEINER, M.; ROHR, C. *The manual for colored Petri nets in Snoopy – QPN^C/SPN^C/CPN^C/GHPN^C*. Computer Science Reports Brandenburg University of Technology, Cottbus, 2012.

LONG, F.; ZEILER, P. *Modelling the production systems in industry 4.0 and their availability with high-level Petri nets*. IFAC-PapersOnLine, 49 (12) (2016), pag. 145-150, 2016.

LONG, F.; ZEILER, P.; BERTSCHE, B. *Potentials of coloured petri nets for realistic availability modelling of production systems in Industry 4.0*. In: Proceedings of the ESREL 2015 Conference, 07.09.-10.09. 2015, Zürich, Suíça, pag. 4455–4463, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fei_Long8/publication/304352916_Potentials_of_coloured_Petri_nets_for_realistic_availability_modelling_of_production_systems_in_industry_40/links/576cec4108ae9bd7099685a9.pdf. Acessado em: 10 de novembro de 2017.

LOPES, J. D.; COSTA, R. R.; CORREIA, G. D.; DE SÁ, J. A.; FIGLIOLI, A.. *Arranjo Produtivo Local: o setor de confecções em Goiás*. Disponível em: http://www.imb.go.gov.br/pub/conj/conj32/artigo_03.pdf. Acessado em: 17 de maio de 2017.

MACIEL, P.R.M., LINS, R.D., CUNHA, P.R.F., *Introdução às Redes de Petri e Aplicações*, 10a Escola de Computação, Campinas, Julho 1996. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Maciel/publication/247935030_Introducao_as_redes_de_Petri_e_aplicacoes/links/53fe1afc0cf283c3583b6a83/Introducao-as-redes-de-Petri-e-aplicacoes.pdf. Acessado em 02 de fevereiro de 2017.

MARINHO, A.. *Um estudo sobre as filas para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro* A study on organ transplantation waiting lines in Brazil's Unified National Health System. *Cad. Saúde Pública*, v. 22, n. 10, p. 2229-2239, 2006.

MAZIERO, C. A., *Um ambiente para a análise e simulação de sistemas modelados por Redes de Petri*. Dissertação de Mestrado, DEEL-UFSC, junho, 1990.

MARRANGHELLO, N. *Redes de Petri: Conceitos e Aplicações*, Apostila. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2005, 33p. Disponível em: <https://www.dcce.ibilce.unesp.br/~norian/cursos/mds/ApostilaRdP-CA.pdf>. Acessado em 02 de fevereiro de 2017.

MARWAN, W.; RHOR, C., HEINER, M.; *Petri nets in Snoopy*: A unifying framework for the graphical display, computational modelling, and simulation of bacterial regulatory networks. *Bacterial Molecular Networks: Methods and Protocols*, p. 409-437, 2012.

MELO; M. O. B. C.; CAVALCANTI, G. A.; GONÇALVES, H. S.; DUARTE, S. T. V. G., *Inovações tecnológicas na cadeia produtiva têxtil: análise e estudo de caso em indústria no nordeste do Brasil*. In: *Revista Produção online*. UFSC, Florianópolis, v. 7, n. 2, ago. 2007.

MENEGARDE, J. K.; BARBOSA, C. T.; VILA, D. A.; CARMASSIO, R.; MARINHO, L. H. N.. *Previsão de Demanda por meio do Método de Simulação de Monte Carlo em uma engarrafadora de bebidas*: estudo de caso. In: IV EEPA-FECILCAM – Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial. 2010. Campo Mourão-PR. Disponível em: http://www.fecilcam.br/anais/iv_eepe/data/uploads/3-pesquisa-operacional/3-03-com-autores.pdf. Acessado em: 16 de março de 2017.

MARTINS, R. A. *Abordagens Quantitativa e Qualitativa*. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A. (org.). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, cap. 3, p. 47-63.

MIYAGI, M. M.; MIYAGI, P. E.; KISIL, M.. *Modelagem e análise de serviços de saúde baseados em Redes de Petri interpretadas*. *Production*, v. 11, n. 2, p. 23-39, 2002.

MURATA, T. *Petri Nets: Properties, Analysis and Applications*, Proceedings of the IEEE, vol. 77, n° 4, pp. 541-580, 1989. Disponível em: http://www.dca.fee.unicamp.br/~rafael/ia851/Murata_proc_IEEE_89.pdf. Acessado em: 10 de janeiro de 2017.

NAKANO, D. *Métodos de pesquisa adotados na engenharia de produção e gestão de operações*. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A. (org.). *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012, cap. 4, p. 66.

NEUMANN, C., *Gestão de sistemas de produção e operações* – Rio de Janeiro : Elsevier, 2013.

NETO, M. A. C.; GADELHA, G. R. O.; MORAES, J. K. P.; DANTAS, L. M.; MENDES JUNIOR, L. C. F.. *Aplicabilidade de Teoria de Filas e Simulação de Monte Carlo em uma Loja de Departamentos em Castanhal/Pará*. In: XXXVI ENEGEP – 34º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2016, João Pessoa-PB. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_231_350_29259.pdf. Acessado em: 16 de março de 2017.

PALOMINO, R. C. *Modelagem e Análise de Sistemas de Montagem Utilizando Redes de Petri*. In: XVII ENEGEP – 17º Encontro Nacional de Engenharia de Produção / 3rd International Congress of Industrial Engineering, 1997, Gramado-RS. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1997_T1401.PDF. Acessado em: 15 de março de 2017.

PALOMINO, R. C. *Um modelo para o planejamento e a programação da produção em ambientes job shop baseado em redes de Petri*. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80173>. Acessado em 15 de março de 2017.

PALOMINO, R. C. *Uma abordagem para a modelagem, análise e controle de sistemas de produção utilizando Redes de Petri*. 1995. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/76256>. Acessado em: 15 de março de 2017.

PEREIRA, S. P.; COSTA, J. F. C. L.; SALVADORETTI, P.; KOPPE, J. C.. *Simulação de produção em mina subterrânea de carvão com uso de conjuntos mecanizados*. Rem: revista Escola de Minas. Ouro Preto, MG. Vol. 63, n. 3 (jul./set. 2010), p. 581-589, 2010.

PETRI, C. A.. *Kommunikation mit Automaten*. PhD thesis, Universitat Bonn, 1962.

PETERSON, J. L., *Petri net theory and the modeling of systems*. Prentice-Hall Editions, 1981.

PETRI NETS WORLD. TGI Group at University of Hamburg, Germany. Disponível em: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/index.php>. Acessado em: 12 de janeiro de 2017.

PETRI NETS WORLD. Petri Nets Tool Database. Disponível em: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/tools/quick.html>. Acessado em: 12 de janeiro de 2017.

PISSINELLI, G. J.; RISSO, L. A.; PICANCO, A. R. S.; IGNACIO, P. S. A.; SILVA, A. L.. *Modelo de Simulação de Eventos Discretos para Análise de Fluxo de Veículos*. In: XXXV ENEGEP – 35º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza-CE. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_253_27263.pdf. Acessado em: 16 de março de 2017.

POPOVA-ZEUGMANN, L. *Time Petri Nets*. In: Time and Petri Nets. Springer Berlin Heidelberg, 2013.

REISIG, W. *Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies*. Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2013.

ROHR, C.; MARWAN, W.; HEINER, M. *Snoopy* – a unifying Petri net framework to investigate biomolecular networks. *Bioinformatics*, v. 26, n. 7, p. 974-975, 2010.

SIQUEIRA, R. R.; SILVA, S. S.; DINIZ, M. F. S.; SILVA, E. L.; SILVA, J. C. K.. *Estudo de Modelagem e Simulação de Filas num Supermercado Associado à Análise de Cenários*. In: XXXIII ENEGEP – 33º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2013, Salvador-BA. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_tn_stp_177_012_21942.pdf. Acessado em: 16 de março de 2017.

SANTORO, M. C.; MORAES, L. H. *Simulação de uma linha de montagem de motores*. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 7, n. 3, p.338-351, dez. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v7n3/v7n3a09.pdf>. Acessado em: 02 de março de 2017.

SANTANA-ROBLES, F., MEDINA-MARÍN, J., MONTAÑO-ARANGO, O., SECK-TUOH-MORA, J. C. *Modeling and Simulation of Textile Supply Chain through Colored Petri Nets*. *Intelligent Information Management*, v. 4, n. 05, p. 261, 2012. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=23650>. Acessado em: 02 de março de 2017.

SANTOS, R. S. B.. *Modelagem e análise de performance de sistemas flexíveis de manufatura baseado em redes de Petri temporizadas: estudo de caso na indústria automobilística*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2008.

SENAI/CETIQT. *Globalização da economia têxtil e de confecção brasileira* : empresários, governo e academia unidos pelo futuro do setor. – Rio de Janeiro : SENAI/CETIQT, 2007. 332 p. : il. ; – (Série desafios para a competitividade: cadeia têxtil).

SIQUEIRA, R. R.; SILVA, S. S.; DINIZ, M. F. S.; SILVA, E. L.; SILVA, J. C. K.. *Estudo Realizado sobre Teoria das Filas Aplicado a uma Casa Lotérica no Município de Marabá*. In: XXXV ENEGEP – 35º Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza-CE. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_211_252_26707.pdf. Acessado em: 16 de março de 2017.

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

STAUDT, F. H., COELHO, A. S., GONÇALVES, M. B.. *Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov*. *Produção*, v. 21, n. 4, p. 634-644, out./dez. 2011.

TRONCOSO, S. *Encaixe da modelagem: etapa essencial nas confecções*. AUDACES. Palhoça/SC, out/2013. Disponível em: <http://www.audaces.com/encaixe-da-modelagem-etapa-essencial-nas-confecoes/#!>. Acessado em 01 de fevereiro de 2017.

WANG, X.; WANG, R.; ZHANG, L.; ZHANG, H. *Timed Petri Net Based Optimal Scheduling for Garment Flexible Productions*. Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 2017. Disponível em: <http://medcraveonline.com/JTEFT/JTEFT-02-00055.pdf> Acessado em 01 de outubro de 2017.

WELLS, L. *Performance analysis using coloured Petri nets*. In: Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, 2002. MASCOTS 2002. Proceedings. 10th IEEE International Symposium on. IEEE, 2002. p. 217-221.

YAMADA, M. C.; PORTO, A. J. V.; INAMASU, R. Y. *Aplicação dos conceitos de modelagem e de redes de Petri na análise do processo produtivo da indústria sucroalcooleira*. Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v. 37, n. 6, p. 809-820, 2002.

ZURAWSKI, R.; ZHOU, M.. *Petri nets and industrial applications: A tutorial*. IEEE Transactions on industrial electronics, v. 41, n. 6, p. 567-583, 1994.

APÊNDICE I

As redes de Petri são definidas por um gráfico bipartido que operam com conceito de nós. A estes nós, dá-se o nome de estados e transições. Estes mesmos nós são conectados através dos arcos e a existência de recursos dentro desta rede é indicada pela presença de marcas (CARDOSO e VALETTE, 1997; DESEL e JUHÁS, 2001; MARRANGHELLO, 2005; PETERSON, 1981).

Neste apêndice, são demonstradas as definições formais das redes de Petri Qualitativa (QPN) e redes de Petri Estocásticas (SPN), conforme apresentadas no capítulo 3 e utilizadas no capítulo 4.

Redes de Petri Qualitativas (QPN): Definição formal

As redes de Petri Qualitativas são uma classe de redes Não-coloridas que correspondem às ideias básicas de Carl Adam Petri em 1962, pois descrevem as redes de Petri Estados/Transição (*P/T nets*) (LIU e HEINER, 2014).

Adaptado de MURATA (1989), uma Rede de Petri Qualitativa é uma 5-tupla $PN = (E, T, A, P, M_0)$, onde sua definição formal é dada por:

- E, T são conjuntos finitos e não vazios.
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ é um conjunto finito de **estados** de dimensão $n > 0$.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ é um conjunto finito de **transições** de dimensão $m > 0$.
- $A \subseteq ((E \times T) \cup (T \times E)) \rightarrow \mathbb{N}$ define o conjunto de **arcos** direcionados, com valores inteiros não-negativos (fluxo de relação).
- $P : A \rightarrow \{1, 2, 3, 4, \dots\}$ é a função **peso**.

- $m_0: E \rightarrow \{1, 2, 3, 4, \dots\}$ denota a marca inicial.
- $E \cap T = \emptyset$,
- $e \in E \cup T \neq \emptyset$.

Além destas, os pré-conjuntos e pós-conjuntos do nó $x \in E \cup T$, são definidos conforme POPOVA-ZEUGMANN (2013) por:

- Pré-conjunto: $\bullet x := \{y \in E \cup T \mid f(y, x) \neq 0\}$
- Pós-conjunto: $x \bullet := \{y \in E \cup T \mid f(y, x) \neq 0\}$

Para os **estados** e **transições**, temos quatro conjuntos definidos por:

- $\bullet t$ – pré-estados da transição t .
- $t \bullet$ – pós-estados da transição t .
- $\bullet e$ – pré-transições do estado e .
- $e \bullet$ – pós-transições do estado e .

Redes de Petri Estocásticas (SPN): Definição formal

São extensões das (QPN). Tal qual a QPN, a SPN mantém um número discreto de marcas em seus estados, porém, com tempos de espera exponencialmente distribuídos atribuídos às transições especificadas pelas funções de taxas de disparo (taxas estocásticas) HEINER e GILBERT (2011). Sua semântica implícita é uma Cadeia de Markov de Tempo Contínuo (CTMC) que atribui tempos de espera exponencialmente distribuídos às transições. Com isso, é determinado um tempo de espera estocástico antes de uma transição ativada realmente disparar, desde que não tenha perdido a condição de disparo entre as transições. Os tempos de espera são variáveis aleatórias seguidas de uma distribuição de probabilidade exponencial (MARWAN, RHOR e HEINER, 2012).

A estrutura de uma Rede de Petri Estocástica quantitativa dependente de tempo é dada pela sua respectiva Rede de Petri Qualitativa independente de tempo. Logo, a estrutura da rede qualitativa e suas marcações discretas são mantidas nas SPN. Uma transição ficará habilitada se os pré-estados possuírem marcas em número suficiente. Antes do disparo de uma transição habilitada $t \in T$, um tempo de espera deverá ocorrer, sendo definido como uma variável exponencial distribuída randômica $X_t \in [0, \infty)$ com a função de densidade de probabilidade $f_{x_t}(T) = \lambda_t(m) \cdot e^{-\lambda_t(m) \cdot T}, T \geq 0$.

De acordo com BLÄTKE, HEINER e MARWAN (2011), a definição formal de uma Rede de Petri Estocástica (SPN) é dada por uma quín-tupla $SPN = (E, T, f, v, m_0)$, onde:

- E, T são conjuntos finitos e não vazios.
- $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ é um conjunto finito de **estados** de dimensão $n > 0$.
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ é um conjunto finito de **transições** de dimensão $m > 0$.
- $f: ((E \times T) \cup (E \times P)) \rightarrow \mathbb{N}_0$ define o conjunto de **arcos** direcionados, com valores inteiros não-negativos (fluxo de relação).
- $v: T \rightarrow H$ é uma função, a qual atribui uma função estocástica h_t à cada transição t , através da qual: $H := \bigcup_{t \in T} \{ h_t \mid h_t: \mathbb{N}_0^{|\bullet t|} \rightarrow \mathbb{R}^+ \}$ é o conjunto de todas as funções estocásticas, e $v(t) = h_t$ para todas as transições $t \in T$.
- $m_0: E \rightarrow \mathbb{N}_0$ denota a marca inicial.

APÊNDICE II

Os conjuntos de **estados** posicionados ao primeiro nível hierárquico **N1** referentes às células da produção estão identificados no Quadro 1. O conjunto de estados do setor de Suprimentos, oriundos dos departamentos de Corte e Estoque, é dado por $E_s = \{e_0, e_1\}$. O conjunto de estados pertencentes à Célula 1 da produção, é definido por $E_{C1} = \{e_2, e_3, e_4, \dots, e_{21}\}$. O conjunto de estados visualizados ao longo da Célula 2 de produção é dado por $E_{C2} = \{e_{22}, e_{23}, e_{24}, \dots, e_{29}\}$. O conjunto de estados $E_{C3} = \{e_{30}, e_{32}, \dots, e_{40}\}$ corresponde à Célula 3 da produção. Já o conjunto $E_{C4} = \{e_{41}, e_{43}, \dots, e_{51}\}$ representa os estados descritos ao longo da Célula 4 da produção. O conjunto de estados $E_{C5} = \{e_{52}, e_{54}, \dots, e_{57}\}$ descreve a Célula 5 da produção. Já o conjunto de estado $E_{C6} = \{e_{58}\}$ corresponde ao último estado descrito no primeiro nível hierárquico N1 do fluxo dos suprimentos/produtos onde resulta na camisa gola polo, já finalizada e aguardando para envio ao estoque de produtos acabados ou para a expedição.

Quadro 2 - Estados da rede ao nível N1 de hierarquia.

Estados	Nomenclatura	Descrição	Conjunto
e0	ESTOQUE	Representa os lotes de aviamentos (entretelas de <i>patch</i> , da cabeça da gola, do pé da gola, etiquetas de logomarca, de tamanho e de composição, galão decorativo do <i>patch</i> , viés/cordão da abertura lateral e botões) e acessórios (placas de metal) que tem como origem o Estoque e vão abastecer a linha de produção.	E_s
e1	CORTE	Representa os lotes de peças de tecido componentes da camisa gola polo (frente, costas, mangas, cabeça de gola, pé de gola, <i>patch</i> e forro revel) produzidas no setor de Corte de tecidos.	
e2	BOTAO	Representam os Botões da camisa gola polo que serão utilizados pela Célula 5. Cada unidade do produto final contém 3 unidades de botões.	E_{C1}
e3	ETQ_COMP	Também chamada de Etiqueta Strina, possuem informações legais obrigatórias como forma de lavagem, identificação do produtor, registro CNPJ e outros. São costuradas na parte lateral interna da camisa pelas estações da Célula 4.	
e4	ETQ_LOGO	Etiqueta com a logomarca da empresa utilizada para reforçar a estratégia mercadológica da marca. Costurada na camisa na Célula 3.	
e5	ETQ_TAM	Etiqueta obrigatória indicativa de tamanho da peça (P,M,G,GG). Costurada na camisa na Célula 3 juntamente com a etiqueta de logomarca.	

e6	PLC_METAL	Peça acessória de design em metal com formato retangular gravada com relevo utilizada para efeito visual e reforço da marca. Utilizado somente na Célula 5.
e7	GAL_DECPAT	Galão ou Fita decorada costurada pela Célula 3 na parte interna do peitilho. Visa agregar valor ao produto.
e8	ENTR_PAT	Material aplicado ao tecido para encorpar e estruturar o peitilho. É adesivada ao tecido do <i>patch</i> através de um processo de fusão em alta temperatura ainda na Célula 1.
e9	ENTR_CBGOLA	Material aplicado ao tecido para encorpar e estruturar a gola da camisa. É adesivada à parte superior (cabeça) do tecido da gola através de um processo de fusão em alta temperatura ainda na Célula 1 e enviado à Célula 2 para montagem e fechamento.
e10	ENTR_PGOLA	Material aplicado ao tecido para encorpar e estruturar a gola da camisa. É adesivada à parte inferior (pé) do tecido da gola através de um processo de fusão em alta temperatura ainda na Célula 1 e enviado à Célula 2 para montagem e fechamento.
e11	VIÉS_LAT	Cordão (Cadarço) de efeito visual aplicado na abertura lateral da camisa na altura da barra em operação realizada após o fechamento da camisa pela Célula 4.
e12	COSTAS	Peça de tecido que compõe a parte traseira da camisa gola polo. Utilizada na costura do forro revel pela Célula 3 antes de ir para a montagem geral da camisa.
e13	FRENTE	Peça de tecido que compõe a parte frontal da camisa gola polo. Utilizada primeiramente pela Célula 3 antes de ir para a montagem geral da camisa. É nesta peça que é costurado o <i>patch</i> que formará o peitilho.
e14	MANGAS	Peças de tecido que serão aplicadas pela Célula 4 no fechamento da camisa.
e15	GOLA_CAB	Peças de tecido que serão fundidas com entretela na Célula 1 e montadas pela Célula 2 para o fechamento (costura) da parte superior da gola.
e16	GOLA_PE	Peças de tecido que serão fundidas com entretela na Célula 1 e montadas pela Célula 2 para o fechamento (costura) da parte inferior da gola.
e17	PATCH	Peças de tecido que serão fundidas com entretela na Célula 1 e montadas pela Célula 3 para o fechamento (costura) do peitilho da camisa gola polo.
e18	FOR_REVEL	Peças de tecido aplicada à parte interna das costas da camisa montadas pela Célula 2. Serve de base para as etiquetas de logomarca e tamanho.
e19	PATCH_FUS	Produto resultante da sobreposição e fusão em alta temperatura da entretela de patch e o tecido do <i>patch</i> . É enviado para a Célula 3 para montagem e fechamento.
e20	CAB_GOLA_FUS	Produto resultante da sobreposição e fusão em alta temperatura da entretela de gola e o tecido da cabeça de gola (parte superior). É enviado para a

		Célula 2 para montagem e fechamento da gola.		
e21	PE_GOLA_FUS	Produto resultante da sobreposição e fusão em alta temperatura da entretela de gola e o tecido do pé da gola (parte inferior). É enviado para a Célula 2 para montagem e fechamento da gola.		
e22	CAB_GOLA_PM	A cabeça da gola está pré-montada tendo recebido a primeira costura (interna) e retirados os primeiros excessos de tecido limitado pela máquina de costura.	EC2	
e23	CAB_GOLA_REF	A cabeça da gola (pré-montada e costurada) recebeu um segundo corte do excesso de tecido para atingir o tamanho ideal.		
e24	PE_GOLA_REF	O pé da gola recebeu um corte do excesso de tecido para atingir o tamanho ideal.		
e25	CAB_GOLA_VIR	A cabeça da gola foi virada da posição "do avesso" para a posição definitiva (normal).		
e26	CAB_GOLA_PESP	A cabeça da gola foi pespontada (recebeu uma costura de acabamento na parte externa da peça).		
e27	PE_GOLA_PESP	O pé da gola foi pespontado na altura da barra (recebeu uma costura de acabamento no rodapé da peça).		
e28	GOLA_MONT_FECH	Representa o conjunto de golas (superior - cabeça e inferior - pé) após serem preparadas e montadas na Célula 2. Neste estágio, as partes já formam uma única peça pronta para ser costurada ao corpo da camisa gola polo.		
e29	GOLA_REV	As golas prontas para montagem da camisa foram cuidadosamente revisadas para efeito de controle de qualidade e já estão à disposição da Célula 4 para montagem da camisa.		
e30	REVEL_OK	As etiquetas de logomarca e de tamanho da camisa acabaram de ser costuradas no Forro Revel e aguardam a montagem na parte das costas da camisa na Célula 3.		EC3
e31	COSTAS_OK	A peça das costas da camisa já esta montada com o forro revel e as etiquetas. Aguarda revisão para envio à Célula 4.		
e32	COSTAS_REV	Costas da camisa já revisada e liberada para o estágio da montagem da camisa na Célula 4.		
e33	FR_PAT_MONT	O <i>Patch</i> já entretelado é colocado sobre a Frente da camisa e pregado (primeira costura) e recebe um corte que divide o peitilho ao meio.		
e34	PIQUE_PAT	Feito o "pique" (corte) manual para dobra e fechamento da base do peitilho.		
e35	INF_PAT_MONT	Peça da frente/ <i>patch</i> com a parte inferior do <i>patch</i> dobrada e costurada.		
e36	SUP_PAT_MONT	Peça da frente/ <i>patch</i> com a parte superior do <i>patch</i> dobrada e costurada.		
e37	FR_PAT_GAL	Peça da frente/ <i>patch</i> com o Galão Decorativo costurado sobreposto à parte inferior do <i>patch</i> .		
e38	PATCH_FECH	Peça da frente/ <i>patch</i> /galão com a base do peitilho (Base do <i>Patch</i>) fechado (costurado).		
e39	PATCH_MONT	Frente da camisa formada pela Frente, <i>Patch</i> montado e o Galão decorativo já estão finalizados e a peça aguarda revisão para envio à Célula 4.		
e40	FRENTE_OK	Frente da camisa já revisada e liberada para o estágio da montagem da camisa na Célula 4.		

e41	VIES_CONF	O Viés (cordão) da abertura lateral já foi conferido pela Distribuidora da Célula 4 e aguarda o momento da montagem na camisa.	EC4
e42	MANGA_CONF	As mangas já foram conferidas pela Distribuidora da Célula 4 e aguardam o momento da montagem na camisa.	
e43	CAM_OMBR	Realizada a costura (união) das Costas com a Frente da camisa na altura dos ombros. Aguarda para ser encaminhada para a próxima estação.	
e44	CAM_MANG	Realizada a costura (união) das Mangas às Costas/Frente da camisa. Aguarda para ser encaminhada para a próxima estação.	
e45	CAM_CETIQ	Realizada a costura de fechamento das laterais da camisa inclusive com a inserção da Etiqueta de Composição. Aguarda para ser encaminhada para a próxima estação.	
e46	CAM_CGOLA	Realizada a primeira costura (pregar) que une a camisa com a Gola. Aguarda para ser encaminhada para a próxima estação.	
e47	CAM_CGOLA_OK	Realizada a segunda costura (pespontar) que une definitivamente a camisa com a Gola. Aguarda para ser encaminhada para a próxima estação.	
e48	CAM_CBARRA	Realizada a costura de fechamento da barra da camisa. Aguarda para ser encaminhada para a próxima estação.	
e49	CAM_VIES	Realizada a primeira costura (pregar) do Viés na abertura lateral da camisa.	
e50	CAM_FECH	Realizada a segunda costura (pespontar) do Viés na abertura lateral da camisa. Assim, o processo de montagem (costura) das várias partes dá forma à camisa com o fechamento da peça.	
e51	CAM_FECH_OK	A camisa passou pelo processo de revisão de qualidade e está apta a seguir para a Célula 5 – Botões para ser finalizada.	
e52	CAM_CASA	A camisa gola polo (já montada) passou pelo processo de CASEADO ou caseamento, no qual são abertos cortes nos locais onde os botões ficarão travados ao se abotoá-los (casa do botão). Após os cortes, as bordas são costuradas para reforço.	
e53	CAM_MARC	As posições estão marcadas e a camisa aguarda p/receber os botões. Um Auxiliar da produção utiliza um lápis de colorir para marcar a posição que os botões deverão ser costurados.	
e54	CAM_CBOTAO	A camisa já está com botões e aguarda somente a colocação da placa de metal.	
e55	CAM_PLC_OK	A camisa já está recebeu a placa de metal e aguarda a costura do Travete.	
e56	PLC_METAL_REV	Placas de Metal costuradas na camisa revisadas (retiradas as linhas em excesso) e liberadas para o próximo estágio.	
e57	CAM_GOLA_POLO	Camisa pronta com botões e placa de metal aguardando conferência do controle de qualidade	
e58	CAM_GOLA_POLO_FIM	Camisa Gola Polo finalizada	EC6

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Os conjuntos de transições regulares ao primeiro nível hierárquico N1 referentes às células da produção estão identificados no Quadro 2. O conjunto da Célula 1 é dado por $T_{C1} = \{t0, t1\}$. O conjunto referente à Célula 2 é dado por $T_{C2} = \{t2, t3\}$. O conjunto referente à Célula 3 é dado por $T_{C3} = \{t4, t5, t6\}$. Na Célula 4 da produção tem-se $T_{C4} = \{t7, t8\}$. No caso da Célula 5, o conjunto é dado por $T_{C5} = \{t9, t10\}$, e finalizando as **transições regulares** no primeiro nível hierárquico, tem-se o conjunto dado por $T_{C6} = \{t11\}$ referentes à Célula 6 da produção.

Quadro 3 - Transições da rede ao nível N1 de hierarquia.

Transições	Nomenclatura	Descrição	Conjunto
t0	CONF1	Atividade manual de recepção, conferência e distribuição dos suprimentos originados no Estoque visando alimentar as demais células da produção.	T_{C1}
t1	CONF2	Atividade manual de recepção, conferência e distribuição dos suprimentos originados no setor de Corte de Tecidos visando alimentar as demais células da produção.	
t2	VIRA_CAB_GOLA	Atividade manual onde a auxiliar responsável pela distribuição dos serviços vira a peça do avesso para a posição definitiva (normal) com o auxílio de uma ferramenta (espécie de garfo) fixa em uma mesa.	T_{C2}
t3	PIQUE_CENTRO	Atividade manual onde a auxiliar responsável pela distribuição dos serviços faz um pequeno corte marcando o centro da base que será costurado (unido) à camisa. Este pequeno corte será a referência para a etapa da costura deixar a peça bem alinhada na camisa. Além disso, nesta atividade também se realiza a revisão (controle de qualidade) e distribuição dos trabalhos executados na montagem e fechamento das golas (montagem e junção das cabeças de gola + pés de gola).	
t4	REV_COSTAS_C3	Atividade manual de revisão (controle de qualidade) dos trabalhos executados na montagem das costas, forro revel, etiquetas de logomarca e de tamanho e distribuição dos produtos para a próxima célula.	T_{C3}
t5	PIQUE_FRE_PATCH	Atividade manual onde é feito o "pique" (corte) para dobra e fechamento da base do peitilho.	
t6	REV_FRENTE_C3	Atividade manual de revisão (controle de qualidade) dos trabalhos executados na montagem da frente, patch e galão decorativo e distribuição dos produtos para a próxima célula.	
t7	CONF_C4	Atividade manual de conferência e distribuição das mangas e do viés da abertura lateral para as estações de trabalho de montagem/fechamento da camisa gola polo.	T_{C4}

t8	REVISAO_C4	Antes de liberar as peças já montadas e fechadas, a Célula 4 faz uma revisão dos produtos na busca por imperfeições, para enviá-las para finalização na Célula 5.	
t9	MARCAR_BOTAO	Aux. de Produção faz a marcação manual dos locais onde os botões serão costurados (pregados).	T _{C5}
t10	REV_C5	Conferência e distribuição das quantidades das peças (botões e placas de metal) de acordo com a Ordem de Produção dos lotes de cada referência.	
t11	CONF_ACAB	Conferência final realizada pelo colaborador do Controle de Qualidade do setor de COSTURA para validar a liberação do produto final (camisa gola polo) ao setor de Expedição ou ao Estoque.	T _{C6}

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

O conjunto de transições compostas executadas na Célula 1 é dado por $T_{c_c1} = \{tc0, tc1\}$. O conjunto das transições compostas referentes à Célula 2 é dado por $T_{c_c2} = \{tc2, tc3, \dots, tc6\}$. O conjunto $T_{c_c3} = \{tc7, tc8, \dots, tc14\}$ aponta as transições compostas referentes à Célula 3 da produção. A Célula 4 da produção apresenta o conjunto $T_{c_c4} = \{tc15, tc16, \dots, tc22\}$. Finalmente, o conjunto de transições compostas referentes à Célula 5 da produção é dado por $T_{c_c5} = \{tc23, tc24, tc25, tc26\}$. O Quadro 3 descreve com detalhes cada uma das transições.

Quadro 4 – Transições compostas da rede ao nível N1 de hierarquia.

Transições	Nomenclatura	Descrição	Conjunto
tc0	FUSION_PATCH	Representa o processo mecânico de fusionamento (fusão através de alta temperatura) da máquina fusionadeira tipo prensa para preparação do <i>patch</i> .	T _{c_c1}
tc1	FUSION_GOLA	Representa o processo mecânico de fusionamento (fusão através de alta temperatura) da máquina fusionadeira de esteira automática para preparação das golas (cabeça de gola e pé de gola).	
tc2	REFILA_GOLA1	Representa o início e o fim do processo de funcionamento da Maq. Refiladeira com Agulha, que fecha a Cabeça da Gola fazendo a costura interna das duas peças (frente e costas). Nessa primeira costura, a Gola é costurada do avesso.	T _{c_c2}
tc3	REFILA_GOLA2	Representa o início e o fim do processo de funcionamento da Maq. Refiladeira sem Agulha (Só FACA) que retira os excessos de tecido das partes CABEÇA DA GOLA e PÉ DA GOLA.	
tc4	FECH_GOLA1	Representa o início e o fim do processo de funcionamento da Maq. Costura Reta nº1 que irá pespontar (costura externa) a Cabeça da Gola.	

tc5	FECH_GOLA2	Representa o início e o fim do processo de funcionamento da Maq. Costura Reta nº2 que irá pespontar (costurar) as barras (rodapé) do pé de gola.	
tc6	FECH_GOLA3	Representa o início e o fim do processo de funcionamento da Maq. Costura Reta nº3 que irá unir a cabeça e o pé de gola.	
tc7	MONT_REVEL	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para a montagem das Etiquetas (logomarca e tamanhos) no Forro Revel.	
tc8	COST_COSTAREVEL	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para montagem do Forro Revel nas parte interna superior das Costas da camisa.	
tc9	PREGA_PATCH	Representa toda a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Nippon) para a costura (pregar) do <i>Patch</i> já entretelado que é colocado por sobre a Frente da camisa. Nesta operação, a Máq. de costura NIPPON já realiza o corte que divide o peitilho.	
tc10	PATCH_INF	Representa toda a sequência do processo de funcionamento das máquinas (2 Maq. Costura Reta) para dobra e costura (Montagem) da parte Inferior do <i>Patch</i> da camisa.	Tc_c3
tc11	PATCH_SUP	Representa toda a sequência do processo de funcionamento das máquinas (2 Maq. Costura Reta) para dobra e costura (Montagem) da parte Superior do <i>Patch</i> da camisa.	
tc12	GAL_PAT_INF	Representa toda a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para sobreposição do Galão (Fita Decorativa) na parte Inferior do <i>Patch</i> da camisa.	
tc13	FECH_BASE	Representa toda a sequência do processo de funcionamento das máquinas (2 Maq. Costura Reta) para fechamento (costura) da base do <i>Patch</i> (peitilho).	
tc14	RETANG_PAT	Representa toda a sequência do processo de funcionamento das máquinas (1 Maq. Costura Filigrana) para a costura externa de detalhe (Retângulo) do pé do <i>Patch</i> (peitilho).	
tc15	OMBRO	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Overloque) para costura (união) das Costas com a Frente da camisa na altura dos ombros.	
tc16	MANGAS	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Overloque) para costura (união) das Mangas à camisa (Frente + Costas).	
tc17	LATERAIS	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Overloque) para costura de fechamento das laterais da camisa, incluindo a colocação da Etiqueta de Composição na parte interna da lateral da camisa.	Tc_c4
tc18	GOLA1	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para primeira costura (pregar) a Gola na camisa.	

tc19	GOLA2	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para segunda costura (pespontar) a Gola na camisa.	Tc_c5
tc20	BARRA	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Galoneira) para costura da barra na camisa.	
tc21	VIES1	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para primeira costura (pregar) a Fita do Viés à abertura lateral da camisa.	
tc22	VIES2	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Maq. Costura Reta) para segunda costura (pespontar) a Fita do Viés à abertura lateral da camisa.	
tc23	CASEADO	Representa a sequência do processo de funcionamento das máquinas (3 Maq. Costura Caseadeiras) para a abertura e costura de reforço das casas dos botões da Camisa Gola Polo.	
tc24	COST_BOTOES	Representa a sequência do processo de funcionamento das máquinas (3 Maq. Costura Botoneiras) para a costura dos botões da Camisa Gola Polo.	
tc25	MAQ_PLC	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Máq. Costura Placa) para a costura da placa de metal na Camisa Gola Polo.	
tc26	MAQ_TRAV	Representa a sequência do processo de funcionamento da máquina (1 Máq. Travete) para o reforço do viés da abertura lateral da Camisa Gola Polo.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

APÊNDICE III

A seguir, são descritos todos os conjuntos de **estados** e **transições** ao nível **N2** da hierarquia (sub-rede), seguindo a disposição das 6 células que compõem o setor da produção (Costura) da empresa Alfa.

Logo, o Quadro 4 apresenta os conjuntos de estados ao nível hierárquico **N2**. O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 1 da produção, acessados pela **transição composta Tc0 (FUSION_PATCH)** é dado por $E_{1C1} = \{e59, e60\}$. Já o conjunto de **estados** ainda no âmbito da Célula 1 da produção, acessados pela **transição composta Tc1 (FUSION_GOLA)** é dado por $E_{2C1} = \{e61, e62\}$. O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 2 da produção acessados pela **transição composta Tc2 (REFILA_GOLA1)** é dado por $E_{1C2} = \{e63, e64\}$. O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 2 da produção acessados pela **transição composta Tc3 (REFILA_GOLA2)** é dado por $E_{2C2} = \{e65, e66\}$.

O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 2 da produção acessados pela **transição composta Tc4 (FECH_GOLA1)** é dado por $E_{3C2} = \{e67, e68\}$. O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 2 da produção acessados pela **transição composta Tc5 (FECH_GOLA2)** é dado por $E_{4C2} = \{e69, e70\}$. O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 2 da produção acessados pela **transição composta Tc6 (FECH_GOLA3)** é dado por $E_{5C2} = \{e71, e72\}$.

Na Célula 3 da produção, o conjunto de **estados** acessados pela **transição composta Tc7 (MONT_REVEL)** é dado por $E_{1C3} = \{e73, e74\}$. O conjunto de **estados** no âmbito da Célula 3 da produção acessados pela **transição composta Tc8 (COST_COSTA REVEL)** é dado por $E_{2C3} = \{e75, e76\}$. Os **estados** acessados pela **transição composta Tc9 (PREGA_PATCH)** é dado por $E_{3C3} = \{e77, e78\}$. Os **estados** acessados pela **transição composta Tc10 (PATCH_INF)** é dado por $E_{4C3} = \{e79, e80, e81, e82\}$. Os **estados** acessados pela **transição composta Tc11 (PATCH_SUP)** é dado por $E_{5C3} = \{e83, e84, e85, e86\}$. Os **estados** acessados pela **transição composta Tc12**

(GAL_PATCH_INF) é dado por $E_{6C3} = \{e87, e88\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc13 (FECH_BASE)** é dado por $E_{7C3} = \{e89, e90, e91, e92\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc14 (RETANG_PATCH)** é dado por $E_{8C3} = \{e93, e94\}$.

No caso da Célula 4, os estados acessados pela **transição composta Tc15 (OMBRO)** é dado por $E_{1C4} = \{e95, e96\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc16 (MANGAS)** é dado por $E_{2C4} = \{e97, e98\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc17 (LATERAIS)** é dado por $E_{3C4} = \{e99, e100\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc18 (GOLA1)** é dado por $E_{4C4} = \{e101, e102\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc19 (GOLA2)** é dado por $E_{5C4} = \{e103, e104\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc20 (BARRA)** é dado por $E_{6C4} = \{e105, e106\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc21 (VIES1)** é dado por $E_{7C4} = \{e107, e108\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc22 (VIES2)** é dado por $E_{8C4} = \{e109, e110\}$.

No ambiente da Célula 5, os estados acessados pela **transição composta Tc23 (CASEADO)** é dado por $E_{1C5} = \{e111, e112, e113, e114, e115, e116\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc24 (COST_BOTOES)** é dado por $E_{2C5} = \{e117, e118, e119, e120, e121, e122\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc25 (MAQ_PLC)** é dado por $E_{3C5} = \{e123, e124\}$. Os estados acessados pela **transição composta Tc26 (MAQ_TRAV)** é dado por $E_{4C5} = \{e125, e126\}$.

Quadro 5 - Estados da rede ao nível N2 de hierarquia.

Estados	Nomenclatura	Descrição	Conjunto
e59	PRENSAFUSAO_DISP	Representa uma máquina de fusão para entretelas (modelo Inova PT 250) do tipo prensa que está disponível para utilização.	E1C1
e60	PRENSAFUSAO_USO	Representa a mesma máquina de fusão para entretelas (Inova PT 250) do tipo prensa. Com	

		este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e61	FUSION_GOLA_DISP	Representa uma máquina automática de fusão de entretelas do tipo esteira que está disponível para utilização.	E2C1
e62	FUSION_GOLA_USO	Representa a mesma máquina automática de fusão de entretelas do tipo esteira. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e63	REFILA_GOLA1_DISP	Representa uma máquina de costura refiladeira Sunstar GT 670-01, utilizada com agulha para fechar as cabeças de gola fazendo a costura interna das duas peças (frente e costas) e aparar parte do excesso de tecido. A presença de uma marca neste estado, indica que a máquina está disponível para utilização.	E1C2
e64	REFILA_GOLA1_USO	Representa a mesma máquina de costura refiladeira Sunstar GT 670-01. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e65	REFILA_GOLA2_DISP	Representa uma máquina de costura refiladeira Sunstar GT 670-01 sem a agulha (utiliza somente a função faca), para cortar o excesso de tecido das cabeças e dos pés de gola. A presença de uma marca neste estado indica que a máquina está disponível para utilização.	E2C2
e66	REFILA_GOLA2_USO	Representa a mesma máquina de costura refiladeira Sunstar GT 670-01 sem agulha. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e67	RETA_GOLA1_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para pespontar as cabeças de gola fazendo a costura externa das duas peças (frente e costas). A presença de uma marca neste estado indica que a máquina está disponível para utilização.	E3C2
e68	RETA_GOLA1_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e69	RETA_GOLA2_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar a barra do pé de gola. A presença de uma marca neste estado indica que a máquina está disponível para utilização.	E4C2
e70	RETA_GOLA2_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e71	RETA_GOLA3_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (UNIR) a cabeça da gola ao pé de gola. A presença de uma	E5C2

		marca neste estado indica que a máquina está disponível para utilização.	
e72	RETA_GOLA3_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e73	RETA1_LOGREV_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (unir) a etiqueta de tamanho à etiqueta de logomarca e estas ao forro revel, que está disponível para utilização.	E1c3
e74	RETA1_LOGREV_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e75	RETA2_COSTAREV_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (unir) o Forro Revel + (Etiqueta de Logomarca da empresa + Etiqueta de Tamanho da camisa) na peça de tecido conhecida como Costas da camisa, que está disponível para utilização.	E2c3
e76	RETA2_COSTAREV_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e77	NIPPON_DISP	Representa uma máquina de costura NIPPON NP-T 5878-58B que está disponível para utilização. É utilizada para costurar (unir) o <i>Patch</i> já entretelado sobre a peça de tecido conhecida como Frente da camisa e em seguida já faz o corte que divide o peitilho.	E3c3
e78	NIPPON_USO	Representa a mesma máquina de costura NIPPON NP-T 5878-58B. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e79	RETA1_PI_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (montar) a parte inferior do <i>patch</i> , que está disponível para utilização.	E4c3
e80	RETA1_PI_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e81	RETA2_PI_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (montar) a parte inferior do <i>patch</i> , que está disponível para utilização.	
e82	RETA2_PI_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	

e83	RETA3_PS_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (montar) a parte inferior do <i>patch</i> , que está disponível para utilização.	E5c3
e84	RETA3_PS_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e85	RETA4_PS_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (montar) a parte inferior do <i>patch</i> , que está disponível para utilização.	
e86	RETA4_PS_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e87	RETA5_GD_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (sobrepôr) o Galão decorativo por sobre a parte inferior do <i>patch</i> , que está disponível para utilização.	E6c3
e88	RETA5_GD_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e89	RETA6_BASE_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (fechar) a base do <i>patch</i> (peitilho), que está disponível para utilização.	E7c3
e90	RETA6_BASE_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e91	RETA7_BASE_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (fechar) a base do <i>patch</i> (peitilho), que está disponível para utilização.	
e92	RETA7_BASE_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e93	FILIGRANA_DISP	Representa uma máquina de costura filigrana Sunstar SPS/D B125 AHA-22, utilizada para fazer a costura externa em forma de retângulo na base do <i>patch</i> (peitilho), que está disponível para utilização.	E8c3
e94	FILIGRANA_USO	Representa a mesma máquina de costura filigrana Sunstar SPS/D B125 AHA-22. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e95	OVERL1_DISP	Representa uma máquina de costura Siruba Overloque 637K, utilizada para costurar (unir) as Costas com a Frente da camisa na altura dos	E1c4

		ombros, que está disponível para utilização.	
e96	OVERL1_USO	Representa a mesma máquina de costura Siruba Overloque 637K. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e97	OVERL2_DISP	Representa uma máquina de costura Siruba Overloque 637K, utilizada para costurar (unir) as Mangas com as Costas + Frente da camisa, que está disponível para utilização.	E2C4
e98	OVERL2_USO	Representa a mesma máquina de costura Siruba Overloque 637K. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e99	OVERL3_DISP	Representa uma máquina de costura Siruba Overloque 637K, utilizada para costurar (fechar) as laterais da camisa (Frente + Costas + Mangas) juntamente com a colocação da Etiqueta de Composição, que está disponível para utilização.	E3C4
e100	OVERL3_USO	Representa a mesma máquina de costura Siruba Overloque 637K. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e101	RETA1_MONT_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (unir) a Gola à Camisa fechada (1ª costura), que está disponível para utilização.	E4C4
e102	RETA1_MONT_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e103	RETA2_MONT_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (unir) a Gola à Camisa fechada (1ª costura), que está disponível para utilização.	E5C4
e104	RETA2_MONT_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e105	GALONEIRA_DISP	Representa uma máquina de costura galoneira Siruba C007jd, utilizada para costurar (fechar) a Barra da Camisa, que está disponível para utilização.	E6C4
e106	GALONEIRA_USO	Representa a mesma máquina de costura galoneira Siruba C007jd. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e107	RETA3_MONT_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para costurar (unir) o Viés da abertura lateral à Camisa fechada, que está disponível para utilização.	E7C4

e108	RETA3_MONT_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e109	RETA4_MONT_DISP	Representa uma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G, utilizada para pespontar (rebater) o Viés da abertura lateral à Camisa fechada (2ª costura para acabamento), que está disponível para utilização.	E8c4
e110	RETA4_MONT_USO	Representa a mesma máquina de costura reta Sunstar KM-2310G. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e111	CASEADEIRA1_DISP	Representa uma máquina de costura Juki LBH-1790A, utilizada para a preparação das casas dos Botões, no qual são abertos cortes nos locais onde os botões ficarão travados ao se abotoá-los (casa do botão) e depois de cortado, as bordas são costuradas para reforço. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	
e112	CASEADEIRA1_USO	Representa a mesma máquina de costura Juki LBH-1790A. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e113	CASEADEIRA2_DISP	Representa uma máquina de costura Juki LBH-1790A, utilizada para a preparação das casas dos Botões, no qual são abertos cortes nos locais onde os botões ficarão travados ao se abotoá-los (casa do botão) e depois de cortado, as bordas são costuradas para reforço. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	
e114	CASEADEIRA2_USO	Representa a mesma máquina de costura Juki LBH-1790A. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e115	CASEADEIRA3_DISP	Representa uma máquina de costura Juki LBH-1790A, utilizada para a preparação das casas dos Botões, no qual são abertos cortes nos locais onde os botões ficarão travados ao se abotoá-los (casa do botão) e depois de cortado, as bordas são costuradas para reforço. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	
e116	CASEADEIRA3_USO	Representa a mesma máquina de costura Juki LBH-1790A. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e117	BOTON1_DISP	Representa uma máquina de costura Sunstar SPS/C-B1202-02, utilizada para costurar os Botões. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	E2c5
e118	BOTON1_USO	Representa a mesma máquina de costura Sunstar SPS/C-B1202-02. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber	

		outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e119	BOTON2_DISP	Representa uma máquina de costura Sunstar SPS/C-B1202-02, utilizada para costurar os Botões. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	
e120	BOTON2_USO	Representa a mesma máquina de costura Sunstar SPS/C-B1202-02. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e121	BOTON3_DISP	Representa uma máquina de costura Sunstar SPS/C-B1202-02, utilizada para costurar os Botões. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	
e122	BOTON3_USO	Representa a mesma máquina de costura Sunstar SPS/C-B1202-02. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e123	MAQ_PLC_DISP	Representa uma máquina de costura Siruba PK 511-U, utilizada para costurar as Placas de Metal à parte da frente da camisa. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	E3C5
e124	MAQ_PLC_USO	Representa a mesma máquina de costura Siruba PK 511-U. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	
e125	TRAV_DISP	Representa uma máquina de costura Sunstar SPS/D-B120H, utilizada para costurar o reforço (Travete) no Viés da abertura lateral. Nesta condição a máquina está disponível para realizar atividades.	E4C5
e126	TRAV_USO	Representa a mesma máquina de costura Sunstar SPS/D-B120H. Com este status, significa que a máquina está sendo utilizada não pode receber outra carga de trabalho até a conclusão da anterior.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Paralelamente, no nível hierárquico N2, o conjunto de **transições regulares** no âmbito das células da produção são apresentados no Quadro 5. O conjunto de transições dispostos na Célula 1 da produção, acessados pela **transição composta Tc0 (FUSION_PATCH)** é dado por $T_{1C1} = \{t13, t14\}$. O conjunto das **transições** acessadas pela **transição composta Tc1 (FUSION_GOLA)** é dado por $T_{2C1} = \{t15, t16\}$.

Dentro da Célula 2, as **transições** acessadas pela **transição composta Tc2 (REFILA_GOLA1)** é dado por $T_{1C2} = \{t17, t18\}$. As **transições** acessadas pela **transição**

composta Tc3 (REFILA_GOLA2) é dado por $T_{2C2} = \{t19, t20\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc4 (FECH_GOLA1) é dado por $T_{3C2} = \{t21, t22\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc5 (FECH_GOLA2) é dado por $T_{4C2} = \{t23, t24\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc6 (FECH_GOLA3) é dado por $T_{5C2} = \{t25, t26\}$.

Para o ambiente da Célula 3, as transições acessadas pela transição composta Tc7 (MONT_REVEL) é dado por $T_{1C3} = \{t27, t28\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc8 (COST_COSTAREVEL) é dado por $T_{2C3} = \{t29, t30\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc9 (PREGA_PATCH) é dado por $T_{3C3} = \{t31, t32\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc10 (PATCH_INF) é dado por $T_{4C3} = \{t33, t34, t35, t36\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc11 (PATCH_SUP) é dado por $T_{5C3} = \{t37, t38, t39, t40\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc12 (GAL_PATCH_INF) é dado por $T_{6C3} = \{t41, t42\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc13 (FECH_BASE) é dado por $T_{7C3} = \{t43, t44, t45, t46\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc14 (RETANG_PATCH) é dado por $T_{8C3} = \{t47, t48\}$.

As transições apresentadas na Célula 4 da produção, acessadas pela transição composta Tc15 (OMBRO) é dado por $T_{1C4} = \{t49, t50\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc16 (MANGAS) é dado por $T_{2C4} = \{t51, t52\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc17 (LATERAIS) é dado por $T_{3C4} = \{t53, t54\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc18 (GOLA1) é dado por $T_{4C4} = \{t55, t56\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc19 (GOLA2) é dado por $T_{5C4} = \{t57, t58\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc20 (BARRA) é dado por $T_{6C4} = \{t59, t60\}$. As transições acessadas pela transição composta Tc21 (VIES1) é dado

por $T_{7C4} = \{t61, t62\}$. As **transições** acessadas pela **transição composta Tc22 (VIES2)** é dado por $T_{8C4} = \{t63, t64\}$.

No ambiente da Célula 5 do setor da costura, tem-se as **transições** acessadas pela **transição composta Tc23 (CASEADO)** que é dado por $T_{1C5} = \{t65, \dots, t70\}$. As **transições** acessadas pela **transição composta Tc24 (COST_BOTOES)** é dado por $T_{2C5} = \{t71, t72, \dots, t76\}$. As **transições** acessadas pela **transição composta Tc25 (MAQ_PLC)** é dado por $T_{3C5} = \{t77, t78\}$. As **transições** acessadas pela **transição composta Tc26 (MAQ_TRAV)** é dado por $T_{4C5} = \{t79, t80\}$.

Quadro 6 – Transições regulares da rede ao nível N2 de hierarquia.

Transições	Nomenclatura	Descrição	Conjunto
t13	FUSAO_PATCH_I	Representa o início da operação de fusão da entretela com o tecido do <i>patch</i> . Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (entretela + <i>patch</i>) acionando a máquina prensa fusionadeira que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T _{1C1}
t14	FUSAO_PATCH_F	Representa o fim da operação de fusão da entretela com o tecido do <i>patch</i> . Ao ser disparado, libera a máquina fusionadeira que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (<i>patch</i> fusionado).	
t15	FUSIONA_GOLA_I	Representa o início da operação de fusão da entretela com os tecidos da gola. Dispara logo que há a presença dos quatro suprimentos (cabeça da gola + pé da gola + entretela cabeça da gola + entretela pé da gola) acionando a máquina fusionadeira de esteira automática que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T _{2C1}
t16	FUSIONA_GOLA_F	Representa o fim da operação de fusão das entretelas com os tecidos das golas. Ao ser disparado, libera a máquina fusionadeira que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (cabeça e pé da gola fusionados).	
t17	REFILA_GOLA1_I	Representa o início da operação de montagem e costura da cabeça da gola. Dispara logo que há a presença do suprimento (cabeça da gola fusionada) acionando a máquina refiladeira com agulha que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T _{1C2}
t18	REFILA_GOLA1_F	Representa o fim da operação de fechamento da	

		cabeça das golas Ao ser disparado, libera a máquina refiladeira com agulha que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (cabeça da gola pré-montada).	
t19	REFILA_GOLA2_I	Representa o início da operação de corte do excesso de tecido da cabeça e do pé da gola. Dispara logo que há a presença dos suprimentos (cabeça ou pé da gola) acionando a máquina refiladeira sem agulha (função faca) que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T2C2
t20	REFILA_GOLA2_F	Representa o fim da operação de corte do excesso de tecido da cabeça e do pé da gola Ao ser disparado, libera a máquina refiladeira sem agulha (função faca) que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (cabeça e pé da gola pré-montada).	
t21	PESP_CABGOLA_I	Representa o início da operação de costura externa da cabeça da gola. Dispara logo que há a presença do suprimento (cabeça da gola) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T3C2
t22	PESP_CABGOLA_F	Representa o fim da operação de costura externa da cabeça da gola. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (cabeça da gola montada).	
t23	BARRA_PEGOLA_I	Representa o início da operação de costura da barra do pé da gola. Dispara logo que há a presença do suprimento (pé da gola) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T4C2
t24	BARRA_PEGOLA_F	Representa o fim da operação de costura da barra do pé da gola. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (pé da gola montado).	
t25	UNIR_CABPEGOLA_I	Representa o início da operação de união (costura) da cabeça da gola com o pé da gola. Dispara logo que há a presença dos suprimentos (cabeça e pé da gola) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T5C2
t26	UNIR_CABPEGOLA_F	Representa o fim da operação de união (costura) da cabeça da gola com o pé da gola. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (gola montada/fechada).	
t27	MONT_REVEL_I	Representa o início da operação de montagem e costura do forro revel. Dispara logo que há a presença dos três suprimentos (etiquetas de	T1C3

		logomarca, etiqueta de tamanho da peça e forro revel) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t28	MONT_REVEL_F	Representa o fim da operação de montagem e costura do forro revel. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Forro Revel montado).	
t29	COST_COSTAREVEL_I	Representa o início da operação de costura (união) das costas da camisa com o forro revel. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (costas da camisa e forro revel) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T2C3
t30	COST_COSTAREVEL_F	Representa o fim da operação de costura (união) das costas da camisa com o forro revel. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Costas da camisa montada).	
t31	PREGA_PATCH_I	Representa o início da operação de costura (prega ou primeira costura) da frente com o <i>patch</i> visando a formação do peitilho. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (frente da camisa e <i>patch</i> entretelado) acionando a máquina de costura Nippon que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T3C3
t32	PREGA_PATCH_F	Representa o fim da operação de costura (prega) da frente com o <i>patch</i> . Ao ser disparado, libera a máquina de costura Nippon que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Frente da camisa montada).	
t33	FECH_PATCH1_I	Representa o início da operação de dobra e costura (montagem) da parte inferior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (frente da camisa e <i>patch</i>) acionando a máquina de costura reta1 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T4C3
t34	FECH_PATCH1_F	Representa o fim da operação de dobra e costura (montagem) da parte inferior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta1 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (superior do <i>patch</i> montado).	
t35	FECH_PATCH2_I	Representa o início da operação de dobra e costura (montagem) da parte inferior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (frente da camisa e <i>patch</i>) acionando a máquina de costura reta2 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	

t36	FECH_PATCH2_F	Representa o fim da operação de dobra e costura (montagem) da parte inferior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta2 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (superior do <i>patch</i> montado).	
t37	FECH_PATCH3_I	Representa o início da operação de dobra e costura (montagem) da parte superior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (frente da camisa e <i>patch</i>) acionando a máquina de costura reta3 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T5C3
t38	FECH_PATCH3_F	Representa o fim da operação de dobra e costura (montagem) da parte superior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta3 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (superior do <i>patch</i> montado).	
t39	FECH_PATCH4_I	Representa o início da operação de dobra e costura (montagem) da parte superior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (frente da camisa e <i>patch</i>) acionando a máquina de costura reta4 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t40	FECH_PATCH4_F	Representa o fim da operação de dobra e costura (montagem) da parte superior do <i>patch</i> com a frente da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta4 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (superior do <i>patch</i> montado).	
t41	SOBR_GALPAT_I	Representa o início da operação de costura por sobreposição do Galão decorativo na parte inferior do <i>patch</i> . Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (frente da camisa com <i>patch</i> + Galão decorativo) acionando a máquina de costura reta5 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t42	SOBR_GALPAT_F	Representa o fim da operação de costura por sobreposição do Galão decorativo na parte inferior do <i>patch</i> . Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta5 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (superior do <i>patch</i> montado).	
t43	FECH_PATBASE6_I	Representa o início da operação de costura da base inferior do <i>patch</i> (peitilho). Dispara logo que as operações nas estações anteriores foram completadas, acionando a máquina de costura reta6 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T7C3
t44	FECH_PATBASE6_F	Representa o fim da operação de costura da base inferior do <i>patch</i> (peitilho). Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta6 que sai do	

		status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (<i>patch</i> fechado).	
t45	FECH_PATBASE7_I	Representa o início da operação de costura da base inferior do <i>patch</i> (peitilho). Dispara logo que as operações nas estações anteriores foram completadas, acionando a máquina de costura reta7 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t46	FECH_PATBASE7_F	Representa o fim da operação de costura da base inferior do <i>patch</i> (peitilho). Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta7 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (<i>patch</i> fechado).	
t47	FECH_RETPAT_I	Representa o início da operação de costura externa em forma de retângulo na base inferior do <i>patch</i> (peitilho). Dispara logo que as operações nas estações anteriores foram completadas, acionando a máquina de costura filigrana que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T8C3
t48	FECH_RETPAT_F	Representa o fim da operação de costura externa em forma de retângulo na base inferior do <i>patch</i> (peitilho). Ao ser disparado, libera a máquina de costura filigrana que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (frente da camisa pronta).	
t49	OMBRO_I	Representa o início das operações de costura da camisa propriamente dita com a união das costas com a frente da camisa na altura do ombro. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (costas e frente) acionando a máquina de costura overloque que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T1C4
t50	OMBRO_F	Representa o fim da operação de costura dos ombros da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura overloque que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Costas e frente unidas).	
t51	MANGA_I	Representa o início das operações de costura das mangas à camisa. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (costas/frente + mangas) acionando a máquina de costura overloque que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T2C4
t52	MANGA_F	Representa o fim da operação de costura das mangas da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura overloque que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Costas, frente e mangas unidas).	
t53	FECH_LATERAL_I	Representa o início das operações de costura das laterais da camisa fazendo o fechamento da peça juntamente com a adição da etiqueta de	T3C4

		composição à lateral interna da camisa. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (costas/frente/mangas + etiq. composição) acionando a máquina de costura overloque que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t54	FECH_LATERAL_F	Representa o fim da operação de costura de fechamento da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura overloque que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa fechada).	
t55	MONT_GOLACAM_I	Representa o início das operações de costura da gola à camisa. Por ser a primeira costura de união entre as peças, é chamada de “pregar”. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (camisa fechada c/etiq. + gola) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T4C4
t56	MONT_GOLACAM_F	Representa o fim da operação de primeira costura da gola à camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa fechada c/gola pregada).	
t57	PESP_GOLACAM_I	Representa o início das operações da segunda costura da gola à camisa. Esta segunda costura de união entre a camisa e a gola é chamada de pespontar ou rebater pois trata-se de uma costura de finalização. Dispara logo que há a presença dos dois suprimentos (camisa fechada c/etiq. + gola já costurada) acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T5C4
t58	PESP_GOLACAM_F	Representa o fim da operação de segunda costura da gola à camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa fechada c/gola pronta).	
t59	COST_BARRA_I	Representa o início das operações de costura da barra da camisa. Dispara logo que há a presença camisa fechada c/ gola pronta, acionando a máquina de costura galoneira que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T6C4
t60	COST_BARRA_F	Representa o fim da operação de costura da barra da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura galoneira que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa fechada c/gola e barra).	
t61	COST_VIES_I	Representa o início das operações da primeira costura do viés (pregar) na abertura lateral da camisa. Dispara logo que há a presença camisa fechada c/ gola pronta e barra, acionando a máquina de costura reta que sai do status de	T7C4

		“disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t62	COST_VIES_F	Representa o fim da operação de primeira costura viés à camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa fechada c/gola, barra e viés).	
t63	PESP_VIES_I	Representa o início das operações da segunda costura (pespontar) do viés na abertura lateral da camisa. Dispara logo que há a presença camisa fechada c/ gola pronta e barra, acionando a máquina de costura reta que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T8C4
t64	PESP_VIES_F	Representa o fim da operação de segunda costura do viés à camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura reta que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa fechada s/botões e placa).	
t65	CASEADO1_I	Representa o início das operações de costura de reforço e corte da abertura das casas dos botões da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e sem botões acionando a máquina de costura caseadeira que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T1C5
t66	CASEADO1_F	Representa o fim da operação de costura de reforço e corte da abertura das casas dos botões da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura caseadeira que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa caseada).	
t67	CASEADO2_I	Representa o início das operações de costura de reforço e corte da abertura das casas dos botões da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e sem botões acionando a máquina de costura caseadeira que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t68	CASEADO2_F	Representa o fim da operação de costura de reforço e corte da abertura das casas dos botões da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura caseadeira que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa caseada).	
t69	CASEADO3_I	Representa o início das operações de costura de reforço e corte da abertura das casas dos botões da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e sem botões acionando a máquina de costura caseadeira que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t70	CASEADO3_F	Representa o fim da operação de costura de reforço e corte da abertura das casas dos botões	

		da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura caseadeira que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa caseada).	
t71	COST_BOT1_I	Representa o início das operações de costura dos botões da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e sem botões acionando a máquina de costura botoneira1 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T2c5
t72	COST_BOT1_F	Representa o fim da operação de costura e colocação dos botões da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura botoneira1 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa com botões).	
t73	COST_BOT2_I	Representa o início das operações de costura dos botões da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e sem botões acionando a máquina de costura botoneira2 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t74	COST_BOT2_F	Representa o fim da operação de costura e colocação dos botões da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura botoneira2 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa com botões).	
t75	COST_BOT3_I	Representa o início das operações de costura dos botões da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e sem botões acionando a máquina de costura botoneira3 que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t76	COST_BOT3_F	Representa o fim da operação de costura e colocação dos botões da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura botoneira3 que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa com botões).	
t77	COST_PLC_I	Representa o início das operações de costura da placa de metal na camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta e das placas de metal acionando a máquina de costura Siruba PK 511-U que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	T3c5
t78	COST_PLC_F	Representa o fim da operação de costura e colocação das placas de metal na camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura Siruba PK 511-U que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa com botões e placa).	
t79	COST_TRAV_I	Representa o início das operações de costura de	T4c5

		reforço do Viés da abertura lateral da camisa gola polo. Dispara logo que há a presença da camisa pronta acionando a máquina de costura Sunstar SPS/D-B120H que sai do status de “disponível” e passa a apresentar status de “em uso”.	
t80	COST_TRAV_F	Representa o fim da operação de costura e colocação de reforço do Viés da abertura lateral da camisa. Ao ser disparado, libera a máquina de costura Sunstar SPS/D-B120H que sai do status de “em uso” e passa a apresentar status de “disponível” novamente, resultando em um novo produto (Camisa gola polo OK).	

Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

APÊNDICE IV

Listagem dos tempos coletados nas 41 atividades do setor de produção entre os dias 23 de fevereiro e 05 de abril de 2018.

Quadro 7 – Tempos de operação coletados em cada atividade.

Ordem	FUS_PATCH	FUS_GOLA	R_GOLA_11	R_GOLA_12	VIRA_CAB_GOLA	PES_CABGOLA	BARRA_PEGOLA	UNIR_CABPEGOLA	PIQUE_CENTRO
1	00:00:10	00:00:17	00:00:50	00:00:03	00:00:06	00:00:41	00:00:18	00:01:45	00:00:07
2	00:00:09	00:00:16	00:00:48	00:00:04	00:00:06	00:00:56	00:00:23	00:01:32	00:00:05
3	00:00:11	00:00:15	00:00:48	00:00:03	00:00:04	00:00:53	00:00:24	00:01:36	00:00:05
4	00:00:10	00:00:15	00:00:44	00:00:05	00:00:05	00:00:53	00:00:19	00:01:16	00:00:03
5	00:00:11	00:00:15	00:00:46	00:00:05	00:00:05	00:00:57	00:00:16	00:01:08	00:00:04
6	00:00:09	00:00:15	00:00:43	00:00:06	00:00:04	00:00:49	00:00:20	00:01:20	00:00:04
7	00:00:09	00:00:15	00:00:40	00:00:04	00:00:06	00:00:47	00:00:23	00:01:43	00:00:05
8	00:00:10	00:00:15	00:00:40	00:00:06	00:00:07	00:00:53	00:00:22	00:01:34	00:00:07
9	00:00:09	00:00:15	00:00:43	00:00:05	00:00:05	00:00:40	00:00:21	00:01:16	00:00:05
10	00:00:09	00:00:14	00:00:43	00:00:04	00:00:05	00:00:59	00:00:18	00:01:25	00:00:05
11	00:00:10	00:00:14	00:00:43	00:00:06	00:00:06	00:00:54	00:00:20	00:01:47	00:00:07
12	00:00:08	00:00:15	00:00:33	00:00:04	00:00:03	00:00:52	00:00:24	00:01:34	00:00:05
13	00:00:12	00:00:15	00:00:43	00:00:04	00:00:03	00:00:45	00:00:15	00:01:53	00:00:06
14	00:00:10	00:00:15	00:00:46	00:00:03	00:00:05	00:00:41	00:00:15	00:01:34	00:00:03
15	00:00:10	00:00:13	00:00:38	00:00:04	00:00:05	00:00:48	00:00:24	00:01:09	00:00:05
16	00:00:10	00:00:15	00:00:37	00:00:05	00:00:04	00:00:48	00:00:22	00:01:29	00:00:11
17	00:00:10	00:00:17	00:00:44	00:00:07	00:00:04	00:00:40	00:00:28	00:01:29	00:00:09
18	00:00:10	00:00:15	00:00:36	00:00:08	00:00:04	00:00:42	00:00:25	00:01:30	00:00:09
19	00:00:11	00:00:16	00:00:41	00:00:06	00:00:04	00:00:44	00:00:21	00:01:27	00:00:08
20	00:00:10	00:00:15	00:00:42	00:00:08	00:00:03	00:00:41	00:00:21	00:01:24	00:00:08
21	00:00:11	00:00:15	00:00:37	00:00:08	00:00:05	00:00:47	00:00:19	00:01:23	00:00:08
22	00:00:09	00:00:15	00:00:40	00:00:06	00:00:03	00:00:45	00:00:20	00:01:24	00:00:08
23	00:00:11	00:00:15	00:00:45	00:00:05	00:00:03	00:00:45	00:00:21	00:01:23	00:00:12
24	00:00:10	00:00:14	00:00:36	00:00:07	00:00:04	00:00:49	00:00:26	00:01:25	00:00:10
25	00:00:10	00:00:15	00:00:41	00:00:08	00:00:04	00:00:46	00:00:28	00:01:24	00:00:13
26	00:00:09	00:00:15	00:00:42	00:00:05	00:00:05	00:00:50	00:00:27	00:01:20	00:00:13
27	00:00:10	00:00:13	00:00:41	00:00:08	00:00:05	00:00:45	00:00:22	00:01:24	00:00:09
28	00:00:10	00:00:15	00:00:37	00:00:07	00:00:05	00:00:46	00:00:23	00:01:21	00:00:13
29	00:00:10	00:00:15	00:00:45	00:00:07	00:00:04	00:00:42	00:00:23	00:01:21	00:00:14
30	00:00:10	00:00:14	00:00:44	00:00:05	00:00:03	00:00:44	00:00:19	00:01:23	00:00:13
31	00:00:11	00:00:15	00:00:39	00:00:04	00:00:05	00:00:46	00:00:20	00:01:40	00:00:06
32	00:00:11	00:00:15	00:00:39	00:00:03	00:00:05	00:00:45	00:00:20	00:01:34	00:00:04
33	00:00:10	00:00:15	00:00:39	00:00:03	00:00:05	00:00:48	00:00:20	00:01:33	00:00:04
34	00:00:10	00:00:15	00:00:39	00:00:04	00:00:05	00:00:48	00:00:18	00:01:36	00:00:07
35	00:00:12	00:00:15	00:00:38	00:00:06	00:00:05	00:00:49	00:00:20	00:01:35	00:00:04
36	00:00:11	00:00:15	00:00:40	00:00:07	00:00:05	00:00:46	00:00:21	00:01:33	00:00:07
37	00:00:10	00:00:15	00:00:41	00:00:05	00:00:05	00:00:44	00:00:20	00:01:38	00:00:04
38	00:00:12	00:00:15	00:00:43	00:00:04	00:00:05	00:00:48	00:00:19	00:01:38	00:00:06
39	00:00:10	00:00:15	00:00:39	00:00:10	00:00:05	00:00:45	00:00:18	00:01:36	00:00:08
40	00:00:09	00:00:15	00:00:41	00:00:03	00:00:05	00:00:44	00:00:19	00:01:35	00:00:06
41	00:00:10	00:00:15	00:00:40	00:00:05	00:00:05	00:00:44	00:00:20	00:01:32	00:00:04
42	00:00:12	00:00:15	00:00:38	00:00:07	00:00:05	00:00:48	00:00:19	00:01:32	00:00:04
43	00:00:12	00:00:15	00:00:39	00:00:04	00:00:05	00:00:46	00:00:17	00:01:36	00:00:07
44	00:00:10	00:00:15	00:00:40	00:00:05	00:00:05	00:00:46	00:00:17	00:01:34	00:00:05
45	00:00:09	00:00:15	00:00:43	00:00:07	00:00:05	00:00:47	00:00:18	00:01:39	00:00:08
46	00:00:12	00:00:15	00:00:43	00:00:07	00:00:05	00:00:45	00:00:17	00:01:34	00:00:04
47	00:00:11	00:00:14	00:00:43	00:00:05	00:00:06	00:00:49	00:00:19	00:01:28	00:00:06
48	00:00:10	00:00:15	00:00:47	00:00:05	00:00:07	00:00:48	00:00:16	00:01:46	00:00:06
49	00:00:07	00:00:15	00:00:45	00:00:06	00:00:05	00:00:47	00:00:18	00:01:37	00:00:08
50	00:00:09	00:00:15	00:00:44	00:00:05	00:00:07	00:00:47	00:00:19	00:01:26	00:00:08
51	00:00:10	00:00:13	00:00:41	00:00:06	00:00:04	00:00:49	00:00:18	00:01:47	00:00:05
52	00:00:12	00:00:15	00:00:47	00:00:06	00:00:05	00:00:45	00:00:17	00:01:21	00:00:07
53	00:00:08	00:00:15	00:00:45	00:00:07	00:00:07	00:00:47	00:00:18	00:01:24	00:00:05
54	00:00:08	00:00:16	00:00:39	00:00:05	00:00:04	00:00:48	00:00:20	00:01:42	00:00:07
55	00:00:11	00:00:15	00:00:43	00:00:08	00:00:07	00:00:46	00:00:19	00:01:30	00:00:05
56	00:00:07	00:00:15	00:00:42	00:00:08	00:00:07	00:00:49	00:00:20	00:01:20	00:00:07
57	00:00:09	00:00:15	00:00:44	00:00:05	00:00:04	00:00:48	00:00:18	00:01:23	00:00:08
58	00:00:09	00:00:15	00:00:42	00:00:06	00:00:06	00:00:47	00:00:19	00:01:25	00:00:08
59	00:00:11	00:00:15	00:00:43	00:00:06	00:00:07	00:00:47	00:00:17	00:01:33	00:00:05
60	00:00:10	00:00:15	00:00:45	00:00:06	00:00:06	00:00:49	00:00:20	00:01:45	00:00:07
61	00:00:10	00:00:15	00:00:38	00:00:04	00:00:06	00:00:52	00:00:21	00:01:33	00:00:07
62	00:00:09	00:00:17	00:00:38	00:00:06	00:00:02	00:00:45	00:00:25	00:01:33	00:00:04
63	00:00:09	00:00:17	00:00:38	00:00:05	00:00:05	00:00:41	00:00:21	00:01:34	00:00:03
64	00:00:11	00:00:15	00:00:37	00:00:04	00:00:03	00:00:40	00:00:23	00:01:39	00:00:04
65	00:00:11	00:00:14	00:00:40	00:00:04	00:00:05	00:00:52	00:00:24	00:01:16	00:00:07
66	00:00:11	00:00:15	00:00:35	00:00:05	00:00:02	00:00:45	00:00:22	00:01:24	00:00:05
67	00:00:11	00:00:15	00:00:38	00:00:07	00:00:03	00:00:45	00:00:21	00:01:42	00:00:08
68	00:00:11	00:00:12	00:00:42	00:00:05	00:00:04	00:00:56	00:00:19	00:01:25	00:00:05
69	00:00:11	00:00:16	00:00:38	00:00:07	00:00:02	00:00:50	00:00:21	00:01:18	00:00:05
70	00:00:10	00:00:13	00:00:34	00:00:07	00:00:05	00:00:42	00:00:23	00:01:44	00:00:06
71	00:00:12	00:00:12	00:00:39	00:00:03	00:00:04	00:00:51	00:00:26	00:01:26	00:00:03
72	00:00:10	00:00:14	00:00:35	00:00:03	00:00:06	00:00:45	00:00:21	00:01:16	00:00:09
73	00:00:10	00:00:17	00:00:40	00:00:03	00:00:04	00:00:43	00:00:25	00:01:30	00:00:08
74	00:00:12	00:00:17	00:00:40	00:00:07	00:00:06	00:00:53	00:00:19	00:01:15	00:00:05
75	00:00:12	00:00:14	00:00:38	00:00:05	00:00:05	00:00:55	00:00:21	00:01:24	00:00:04

Ordem	REV_GOLA_C2	PREGA_PAT_I	PIQUE_FRE_PAT	FECH_I1	FECH_I2	FECH_I3	FECH_I4	SOBREGAL_I5	FECH_BASE_I6
1	00:00:03	00:00:22	00:00:08	00:00:32	00:00:32	00:00:34	00:00:26	00:00:21	00:00:27
2	00:00:03	00:00:27	00:00:08	00:00:32	00:00:27	00:00:35	00:00:32	00:00:22	00:00:32
3	00:00:03	00:00:27	00:00:09	00:00:31	00:00:27	00:00:31	00:00:29	00:00:20	00:00:31
4	00:00:03	00:00:21	00:00:10	00:00:28	00:00:31	00:00:31	00:00:33	00:00:19	00:00:29
5	00:00:04	00:00:28	00:00:09	00:00:26	00:00:27	00:00:31	00:00:26	00:00:20	00:00:31
6	00:00:02	00:00:24	00:00:11	00:00:30	00:00:34	00:00:27	00:00:29	00:00:20	00:00:26
7	00:00:03	00:00:27	00:00:08	00:00:32	00:00:31	00:00:26	00:00:29	00:00:18	00:00:32
8	00:00:04	00:00:25	00:00:07	00:00:28	00:00:26	00:00:34	00:00:31	00:00:19	00:00:29
9	00:00:03	00:00:22	00:00:10	00:00:26	00:00:33	00:00:35	00:00:32	00:00:20	00:00:32
10	00:00:03	00:00:22	00:00:08	00:00:27	00:00:34	00:00:31	00:00:26	00:00:19	00:00:26
11	00:00:03	00:00:26	00:00:10	00:00:33	00:00:26	00:00:34	00:00:26	00:00:22	00:00:27
12	00:00:02	00:00:27	00:00:09	00:00:26	00:00:31	00:00:28	00:00:30	00:00:18	00:00:32
13	00:00:04	00:00:27	00:00:09	00:00:29	00:00:33	00:00:26	00:00:30	00:00:21	00:00:33
14	00:00:03	00:00:28	00:00:08	00:00:30	00:00:27	00:00:26	00:00:26	00:00:21	00:00:28
15	00:00:03	00:00:29	00:00:10	00:00:34	00:00:31	00:00:34	00:00:28	00:00:19	00:00:28
16	00:00:02	00:00:21	00:00:09	00:00:29	00:00:43	00:00:38	00:00:41	00:00:14	00:00:25
17	00:00:01	00:00:23	00:00:10	00:00:29	00:00:40	00:00:43	00:00:42	00:00:20	00:00:30
18	00:00:03	00:00:24	00:00:08	00:00:27	00:00:39	00:00:31	00:00:38	00:00:18	00:00:28
19	00:00:03	00:00:25	00:00:08	00:00:30	00:00:40	00:00:31	00:00:39	00:00:14	00:00:27
20	00:00:01	00:00:24	00:00:08	00:00:28	00:00:38	00:00:40	00:00:41	00:00:19	00:00:27
21	00:00:02	00:00:23	00:00:09	00:00:29	00:00:40	00:00:36	00:00:39	00:00:21	00:00:26
22	00:00:01	00:00:21	00:00:08	00:00:27	00:00:42	00:00:32	00:00:45	00:00:21	00:00:29
23	00:00:03	00:00:23	00:00:08	00:00:27	00:00:39	00:00:42	00:00:44	00:00:17	00:00:29
24	00:00:02	00:00:21	00:00:08	00:00:26	00:00:41	00:00:31	00:00:44	00:00:18	00:00:26
25	00:00:02	00:00:22	00:00:10	00:00:28	00:00:35	00:00:31	00:00:42	00:00:15	00:00:24
26	00:00:03	00:00:21	00:00:08	00:00:28	00:00:43	00:00:33	00:00:44	00:00:20	00:00:29
27	00:00:02	00:00:25	00:00:08	00:00:30	00:00:36	00:00:38	00:00:46	00:00:15	00:00:24
28	00:00:03	00:00:24	00:00:09	00:00:29	00:00:41	00:00:38	00:00:45	00:00:17	00:00:26
29	00:00:04	00:00:25	00:00:08	00:00:29	00:00:39	00:00:38	00:00:46	00:00:14	00:00:30
30	00:00:02	00:00:24	00:00:08	00:00:29	00:00:40	00:00:39	00:00:41	00:00:21	00:00:27
31	00:00:07	00:00:35	00:00:14	00:00:35	00:00:33	00:00:34	00:00:33	00:00:17	00:00:25
32	00:00:02	00:00:33	00:00:11	00:00:35	00:00:36	00:00:38	00:00:36	00:00:17	00:00:28
33	00:00:05	00:00:40	00:00:11	00:00:38	00:00:36	00:00:38	00:00:37	00:00:16	00:00:24
34	00:00:03	00:00:36	00:00:11	00:00:37	00:00:31	00:00:32	00:00:33	00:00:17	00:00:25
35	00:00:02	00:00:38	00:00:10	00:00:37	00:00:40	00:00:36	00:00:31	00:00:19	00:00:28
36	00:00:03	00:00:38	00:00:09	00:00:36	00:00:35	00:00:34	00:00:39	00:00:17	00:00:23
37	00:00:04	00:00:34	00:00:11	00:00:38	00:00:43	00:00:29	00:00:39	00:00:18	00:00:24
38	00:00:03	00:00:36	00:00:09	00:00:36	00:00:34	00:00:32	00:00:32	00:00:18	00:00:28
39	00:00:03	00:00:39	00:00:11	00:00:37	00:00:39	00:00:34	00:00:32	00:00:18	00:00:28
40	00:00:02	00:00:40	00:00:07	00:00:39	00:00:43	00:00:33	00:00:33	00:00:16	00:00:28
41	00:00:04	00:00:38	00:00:08	00:00:39	00:00:41	00:00:37	00:00:33	00:00:18	00:00:29
42	00:00:04	00:00:39	00:00:10	00:00:34	00:00:42	00:00:37	00:00:39	00:00:17	00:00:24
43	00:00:03	00:00:35	00:00:08	00:00:36	00:00:34	00:00:32	00:00:34	00:00:17	00:00:26
44	00:00:02	00:00:40	00:00:13	00:00:39	00:00:43	00:00:34	00:00:31	00:00:15	00:00:28
45	00:00:02	00:00:39	00:00:12	00:00:35	00:00:30	00:00:36	00:00:35	00:00:16	00:00:23
46	00:00:05	00:00:32	00:00:06	00:00:34	00:00:29	00:00:32	00:00:28	00:00:24	00:00:21
47	00:00:04	00:00:33	00:00:07	00:00:34	00:00:28	00:00:40	00:00:32	00:00:16	00:00:25
48	00:00:02	00:00:38	00:00:06	00:00:34	00:00:28	00:00:40	00:00:21	00:00:21	00:00:27
49	00:00:03	00:00:35	00:00:10	00:00:37	00:00:33	00:00:40	00:00:26	00:00:19	00:00:20
50	00:00:03	00:00:34	00:00:10	00:00:36	00:00:28	00:00:36	00:00:31	00:00:17	00:00:25
51	00:00:04	00:00:34	00:00:12	00:00:37	00:00:26	00:00:33	00:00:20	00:00:17	00:00:30
52	00:00:03	00:00:37	00:00:08	00:00:37	00:00:28	00:00:40	00:00:28	00:00:19	00:00:21
53	00:00:03	00:00:33	00:00:07	00:00:35	00:00:27	00:00:32	00:00:32	00:00:22	00:00:25
54	00:00:03	00:00:35	00:00:13	00:00:33	00:00:27	00:00:32	00:00:20	00:00:20	00:00:26
55	00:00:03	00:00:33	00:00:14	00:00:36	00:00:27	00:00:40	00:00:27	00:00:23	00:00:29
56	00:00:04	00:00:34	00:00:12	00:00:36	00:00:31	00:00:39	00:00:30	00:00:19	00:00:24
57	00:00:05	00:00:35	00:00:13	00:00:34	00:00:30	00:00:31	00:00:21	00:00:22	00:00:26
58	00:00:05	00:00:37	00:00:13	00:00:36	00:00:32	00:00:40	00:00:31	00:00:19	00:00:28
59	00:00:02	00:00:32	00:00:09	00:00:34	00:00:28	00:00:37	00:00:20	00:00:18	00:00:27
60	00:00:03	00:00:35	00:00:15	00:00:33	00:00:30	00:00:34	00:00:31	00:00:21	00:00:27
61	00:00:06	00:00:30	00:00:08	00:00:32	00:00:35	00:00:38	00:00:32	00:00:22	00:00:26
62	00:00:05	00:00:31	00:00:07	00:00:32	00:00:32	00:00:40	00:00:37	00:00:21	00:00:23
63	00:00:03	00:00:20	00:00:09	00:00:30	00:00:37	00:00:40	00:00:36	00:00:17	00:00:27
64	00:00:05	00:00:29	00:00:05	00:00:32	00:00:31	00:00:37	00:00:36	00:00:17	00:00:24
65	00:00:04	00:00:32	00:00:04	00:00:37	00:00:35	00:00:34	00:00:40	00:00:16	00:00:27
66	00:00:05	00:00:30	00:00:05	00:00:38	00:00:32	00:00:40	00:00:32	00:00:15	00:00:24
67	00:00:05	00:00:31	00:00:08	00:00:35	00:00:31	00:00:40	00:00:40	00:00:18	00:00:23
68	00:00:04	00:00:23	00:00:05	00:00:34	00:00:36	00:00:38	00:00:37	00:00:18	00:00:26
69	00:00:04	00:00:20	00:00:10	00:00:36	00:00:35	00:00:39	00:00:31	00:00:19	00:00:26
70	00:00:04	00:00:32	00:00:05	00:00:31	00:00:35	00:00:33	00:00:35	00:00:20	00:00:24
71	00:00:04	00:00:28	00:00:09	00:00:36	00:00:32	00:00:38	00:00:35	00:00:16	00:00:25
72	00:00:05	00:00:22	00:00:10	00:00:33	00:00:34	00:00:36	00:00:37	00:00:22	00:00:27
73	00:00:03	00:00:23	00:00:07	00:00:31	00:00:32	00:00:37	00:00:40	00:00:20	00:00:27
74	00:00:07	00:00:29	00:00:06	00:00:37	00:00:33	00:00:37	00:00:38	00:00:19	00:00:25
75	00:00:03	00:00:24	00:00:04	00:00:35	00:00:37	00:00:37	00:00:35	00:00:19	00:00:27

Ordem	FECH_BASE_I7	FECH_PATCH_I8	REV_FRENTE_C3	MONT_ETIQ_REVEL_I	COST_COSTAS_REVEL_I	REV_COSTAS_C3	CONF_C4	OMBRO_I	MANGAS_I
1	00:00:34	00:00:31	00:00:04	00:00:40	00:01:41	00:00:01	00:00:13	00:00:34	00:01:50
2	00:00:28	00:00:28	00:00:03	00:00:42	00:01:22	00:00:02	00:00:15	00:00:30	00:01:22
3	00:00:28	00:00:34	00:00:04	00:00:53	00:01:23	00:00:02	00:00:14	00:00:27	00:01:52
4	00:00:29	00:00:26	00:00:04	00:00:40	00:01:47	00:00:01	00:00:19	00:00:32	00:01:51
5	00:00:30	00:00:26	00:00:02	00:00:47	00:01:35	00:00:03	00:00:19	00:00:26	00:01:47
6	00:00:26	00:00:28	00:00:03	00:00:55	00:01:38	00:00:04	00:00:13	00:00:30	00:01:52
7	00:00:34	00:00:25	00:00:03	00:00:59	00:01:21	00:00:02	00:00:12	00:00:28	00:01:43
8	00:00:29	00:00:25	00:00:04	00:01:02	00:01:26	00:00:03	00:00:15	00:00:25	00:02:01
9	00:00:25	00:00:28	00:00:04	00:00:42	00:01:45	00:00:02	00:00:18	00:00:31	00:01:35
10	00:00:29	00:00:25	00:00:02	00:01:00	00:01:50	00:00:03	00:00:13	00:00:27	00:02:19
11	00:00:30	00:00:30	00:00:04	00:01:02	00:01:28	00:00:01	00:00:14	00:00:28	00:02:16
12	00:00:33	00:00:27	00:00:03	00:00:56	00:01:38	00:00:02	00:00:13	00:00:26	00:02:10
13	00:00:28	00:00:35	00:00:05	00:00:54	00:01:39	00:00:03	00:00:14	00:00:35	00:01:26
14	00:00:30	00:00:34	00:00:03	00:00:48	00:01:44	00:00:03	00:00:12	00:00:32	00:01:52
15	00:00:34	00:00:30	00:00:05	00:00:53	00:01:23	00:00:03	00:00:10	00:00:30	00:01:43
16	00:00:21	00:00:27	00:00:05	00:00:53	00:01:48	00:00:05	00:00:14	00:00:26	00:01:50
17	00:00:23	00:00:28	00:00:04	00:00:53	00:01:33	00:00:04	00:00:16	00:00:29	00:01:46
18	00:00:19	00:00:26	00:00:04	00:00:46	00:01:43	00:00:05	00:00:15	00:00:24	00:01:47
19	00:00:20	00:00:27	00:00:05	00:00:56	00:01:31	00:00:02	00:00:14	00:00:26	00:01:45
20	00:00:21	00:00:29	00:00:06	00:00:47	00:01:44	00:00:02	00:00:17	00:00:29	00:01:43
21	00:00:22	00:00:26	00:00:04	00:00:51	00:01:33	00:00:01	00:00:16	00:00:27	00:01:43
22	00:00:23	00:00:29	00:00:07	00:00:55	00:01:36	00:00:04	00:00:16	00:00:29	00:01:47
23	00:00:21	00:00:30	00:00:03	00:00:51	00:01:40	00:00:05	00:00:18	00:00:22	00:01:49
24	00:00:25	00:00:28	00:00:04	00:00:51	00:01:45	00:00:02	00:00:13	00:00:29	00:01:41
25	00:00:20	00:00:26	00:00:06	00:00:50	00:01:43	00:00:02	00:00:14	00:00:29	00:01:51
26	00:00:21	00:00:26	00:00:04	00:00:55	00:01:44	00:00:04	00:00:14	00:00:23	00:01:48
27	00:00:20	00:00:27	00:00:05	00:00:49	00:01:39	00:00:04	00:00:16	00:00:29	00:01:41
28	00:00:21	00:00:27	00:00:05	00:00:43	00:01:48	00:00:02	00:00:15	00:00:25	00:01:45
29	00:00:21	00:00:26	00:00:06	00:00:52	00:01:46	00:00:04	00:00:13	00:00:29	00:01:50
30	00:00:24	00:00:29	00:00:05	00:00:51	00:01:44	00:00:04	00:00:17	00:00:30	00:01:46
31	00:00:23	00:00:27	00:00:03	00:00:45	00:01:36	00:00:02	00:00:11	00:00:31	00:01:49
32	00:00:20	00:00:27	00:00:03	00:00:47	00:01:37	00:00:02	00:00:12	00:00:25	00:01:47
33	00:00:22	00:00:31	00:00:02	00:00:39	00:01:37	00:00:02	00:00:11	00:00:25	00:01:51
34	00:00:26	00:00:25	00:00:03	00:00:47	00:01:36	00:00:01	00:00:15	00:00:25	00:01:52
35	00:00:20	00:00:23	00:00:02	00:00:43	00:01:38	00:00:07	00:00:11	00:00:29	00:01:47
36	00:00:25	00:00:30	00:00:03	00:00:42	00:01:36	00:00:02	00:00:15	00:00:30	00:01:46
37	00:00:21	00:00:29	00:00:04	00:00:39	00:01:36	00:00:01	00:00:14	00:00:31	00:01:51
38	00:00:24	00:00:28	00:00:03	00:00:46	00:01:41	00:00:02	00:00:13	00:00:24	00:01:45
39	00:00:26	00:00:23	00:00:02	00:00:41	00:01:43	00:00:03	00:00:10	00:00:26	00:01:48
40	00:00:31	00:00:25	00:00:04	00:00:48	00:01:39	00:00:01	00:00:15	00:00:28	00:01:45
41	00:00:22	00:00:29	00:00:03	00:00:38	00:01:37	00:00:01	00:00:12	00:00:24	00:01:48
42	00:00:24	00:00:25	00:00:02	00:00:45	00:01:43	00:00:02	00:00:13	00:00:28	00:01:45
43	00:00:22	00:00:28	00:00:04	00:00:41	00:01:38	00:00:05	00:00:14	00:00:26	00:01:51
44	00:00:30	00:00:30	00:00:03	00:00:39	00:01:38	00:00:01	00:00:13	00:00:32	00:01:49
45	00:00:26	00:00:29	00:00:02	00:00:40	00:01:40	00:00:02	00:00:14	00:00:24	00:01:45
46	00:00:26	00:00:25	00:00:05	00:00:42	00:01:34	00:00:04	00:00:15	00:00:27	00:01:24
47	00:00:26	00:00:25	00:00:01	00:00:39	00:01:46	00:00:04	00:00:19	00:00:30	00:01:42
48	00:00:24	00:00:25	00:00:01	00:00:40	00:01:48	00:00:03	00:00:08	00:00:30	00:01:32
49	00:00:24	00:00:26	00:00:04	00:00:41	00:01:54	00:00:02	00:00:14	00:00:22	00:01:37
50	00:00:23	00:00:25	00:00:01	00:00:42	00:01:46	00:00:05	00:00:10	00:00:24	00:01:25
51	00:00:24	00:00:23	00:00:02	00:00:41	00:01:44	00:00:01	00:00:13	00:00:26	00:01:34
52	00:00:21	00:00:26	00:00:02	00:00:42	00:01:31	00:00:03	00:00:15	00:00:26	00:01:28
53	00:00:23	00:00:26	00:00:03	00:00:41	00:01:32	00:00:03	00:00:12	00:00:30	00:01:48
54	00:00:21	00:00:26	00:00:01	00:00:41	00:01:31	00:00:02	00:00:16	00:00:24	00:01:32
55	00:00:25	00:00:26	00:00:03	00:00:41	00:01:47	00:00:02	00:00:08	00:00:22	00:01:44
56	00:00:22	00:00:24	00:00:03	00:00:39	00:01:56	00:00:03	00:00:08	00:00:22	00:01:37
57	00:00:24	00:00:26	00:00:04	00:00:40	00:01:44	00:00:03	00:00:15	00:00:27	00:01:34
58	00:00:24	00:00:23	00:00:02	00:00:40	00:01:39	00:00:02	00:00:11	00:00:26	00:01:35
59	00:00:24	00:00:25	00:00:01	00:00:38	00:01:36	00:00:05	00:00:15	00:00:26	00:01:47
60	00:00:23	00:00:25	00:00:03	00:00:42	00:01:54	00:00:04	00:00:07	00:00:28	00:01:34
61	00:00:28	00:00:29	00:00:01	00:00:40	00:01:03	00:00:02	00:00:23	00:00:25	00:01:40
62	00:00:27	00:00:18	00:00:02	00:00:49	00:01:14	00:00:03	00:00:23	00:00:30	00:02:22
63	00:00:27	00:00:22	00:00:02	00:00:46	00:01:13	00:00:04	00:00:21	00:00:29	00:02:25
64	00:00:24	00:00:24	00:00:03	00:00:48	00:01:04	00:00:04	00:00:19	00:00:31	00:02:07
65	00:00:34	00:00:24	00:00:02	00:00:40	00:01:06	00:00:05	00:00:18	00:00:29	00:02:15
66	00:00:22	00:00:19	00:00:01	00:00:45	00:01:06	00:00:04	00:00:24	00:00:30	00:01:41
67	00:00:30	00:00:27	00:00:02	00:00:38	00:01:03	00:00:02	00:00:18	00:00:25	00:01:34
68	00:00:26	00:00:20	00:00:02	00:00:47	00:01:12	00:00:03	00:00:21	00:00:26	00:02:16
69	00:00:33	00:00:22	00:00:03	00:00:46	00:01:16	00:00:02	00:00:25	00:00:25	00:02:21
70	00:00:24	00:00:28	00:00:02	00:00:42	00:01:12	00:00:04	00:00:20	00:00:25	00:02:03
71	00:00:29	00:00:25	00:00:01	00:00:44	00:01:04	00:00:03	00:00:23	00:00:28	00:02:24
72	00:00:29	00:00:21	00:00:01	00:00:44	00:01:03	00:00:04	00:00:21	00:00:26	00:01:43
73	00:00:27	00:00:29	00:00:02	00:00:41	00:01:04	00:00:03	00:00:24	00:00:24	00:02:19
74	00:00:29	00:00:30	00:00:03	00:00:43	00:01:02	00:00:04	00:00:25	00:00:25	00:01:58
75	00:00:30	00:00:25	00:00:03	00:00:48	00:01:03	00:00:02	00:00:23	00:00:31	00:01:33

Ordem	FECH_LAT_I	MONT_GOLACAM_I	INIC_RET2	COST_BARRA_I	COST_VIES_I	INIC_VIES_2	REVISÃO_C4	CASEADO1_I	MARCAR_BOTAO
1	00:00:30	00:03:15	00:02:26	00:02:19	00:02:52	00:02:11	00:02:18	00:00:30	00:00:16
2	00:00:32	00:03:12	00:02:29	00:02:19	00:02:43	00:02:16	00:02:53	00:00:34	00:00:13
3	00:00:28	00:03:30	00:02:31	00:02:17	00:02:33	00:02:22	00:03:04	00:00:35	00:00:15
4	00:00:31	00:03:16	00:02:31	00:02:09	00:02:37	00:02:20	00:02:56	00:00:32	00:00:14
5	00:00:30	00:03:40	00:02:32	00:02:16	00:02:32	00:02:12	00:02:33	00:00:31	00:00:15
6	00:00:28	00:03:11	00:02:28	00:02:14	00:02:43	00:02:10	00:02:29	00:00:32	00:00:17
7	00:00:32	00:03:43	00:02:35	00:02:22	00:02:32	00:02:25	00:02:48	00:00:30	00:00:13
8	00:00:33	00:03:13	00:02:39	00:02:10	00:02:41	00:02:21	00:02:29	00:00:33	00:00:14
9	00:00:30	00:03:25	00:02:36	00:02:16	00:02:47	00:02:19	00:02:33	00:00:32	00:00:14
10	00:00:31	00:03:49	00:02:42	00:02:13	00:02:30	00:02:06	00:02:21	00:00:31	00:00:16
11	00:00:32	00:03:30	00:02:27	00:02:06	00:02:46	00:02:20	00:02:37	00:00:31	00:00:16
12	00:00:33	00:03:47	00:02:34	00:02:20	00:02:48	00:02:18	00:02:42	00:00:34	00:00:15
13	00:00:33	00:03:29	00:02:26	00:02:06	00:02:49	00:02:24	00:03:04	00:00:32	00:00:14
14	00:00:32	00:03:17	00:02:39	00:02:18	00:02:26	00:02:07	00:02:57	00:00:32	00:00:13
15	00:00:25	00:03:19	00:02:44	00:02:10	00:02:31	00:02:13	00:02:10	00:00:31	00:00:15
16	00:00:47	00:03:28	00:02:30	00:02:22	00:02:35	00:02:15	00:02:29	00:00:31	00:00:16
17	00:00:42	00:03:32	00:02:22	00:02:26	00:02:35	00:02:14	00:02:33	00:00:32	00:00:16
18	00:00:42	00:03:26	00:02:22	00:02:17	00:02:33	00:02:12	00:02:35	00:00:32	00:00:12
19	00:00:39	00:03:27	00:02:30	00:02:07	00:02:37	00:02:12	00:02:35	00:00:33	00:00:16
20	00:00:40	00:03:25	00:02:30	00:02:20	00:02:32	00:02:13	00:02:34	00:00:32	00:00:12
21	00:00:39	00:03:31	00:02:30	00:02:01	00:02:39	00:02:14	00:02:31	00:00:27	00:00:12
22	00:00:39	00:03:28	00:02:30	00:02:12	00:02:38	00:02:15	00:02:30	00:00:30	00:00:13
23	00:00:42	00:03:26	00:02:28	00:02:07	00:02:38	00:02:14	00:02:30	00:00:34	00:00:13
24	00:00:38	00:03:28	00:02:28	00:02:28	00:02:38	00:02:17	00:02:31	00:00:30	00:00:15
25	00:00:40	00:03:28	00:02:27	00:02:08	00:02:31	00:02:12	00:02:33	00:00:34	00:00:14
26	00:00:45	00:03:26	00:02:24	00:02:01	00:02:33	00:02:13	00:02:31	00:00:30	00:00:14
27	00:00:40	00:03:29	00:02:24	00:02:25	00:02:36	00:02:11	00:02:31	00:00:28	00:00:13
28	00:00:40	00:03:31	00:02:22	00:02:15	00:02:37	00:02:16	00:02:37	00:00:29	00:00:15
29	00:00:48	00:03:24	00:02:27	00:02:03	00:02:36	00:02:13	00:02:32	00:00:34	00:00:13
30	00:00:48	00:03:27	00:02:28	00:02:21	00:02:39	00:02:16	00:02:34	00:00:32	00:00:14
31	00:00:40	00:03:36	00:02:30	00:02:05	00:02:38	00:02:10	00:02:36	00:00:25	00:00:11
32	00:00:42	00:03:38	00:02:34	00:02:06	00:02:30	00:02:14	00:02:35	00:00:35	00:00:11
33	00:00:45	00:03:36	00:02:32	00:02:12	00:02:32	00:02:10	00:02:34	00:00:32	00:00:13
34	00:00:44	00:03:30	00:02:30	00:02:13	00:02:40	00:02:14	00:02:35	00:00:25	00:00:12
35	00:00:41	00:03:34	00:02:31	00:02:07	00:02:40	00:02:13	00:02:33	00:00:35	00:00:13
36	00:00:43	00:03:38	00:02:32	00:02:07	00:02:49	00:02:14	00:02:34	00:00:27	00:00:12
37	00:00:40	00:03:35	00:02:31	00:02:13	00:02:41	00:02:12	00:02:32	00:00:21	00:00:11
38	00:00:44	00:03:29	00:02:29	00:02:18	00:02:33	00:02:13	00:02:37	00:00:24	00:00:11
39	00:00:45	00:03:34	00:02:33	00:02:15	00:02:31	00:02:13	00:02:35	00:00:25	00:00:13
40	00:00:42	00:03:34	00:02:34	00:02:24	00:02:29	00:02:15	00:02:35	00:00:34	00:00:12
41	00:00:42	00:03:34	00:02:31	00:02:11	00:02:35	00:02:14	00:02:36	00:00:26	00:00:11
42	00:00:40	00:03:28	00:02:29	00:02:17	00:02:43	00:02:12	00:02:35	00:00:22	00:00:13
43	00:00:44	00:03:29	00:02:30	00:02:24	00:02:37	00:02:10	00:02:33	00:00:27	00:00:11
44	00:00:45	00:03:38	00:02:34	00:02:07	00:02:34	00:02:13	00:02:33	00:00:21	00:00:11
45	00:00:44	00:03:37	00:02:33	00:02:20	00:02:44	00:02:10	00:02:37	00:00:25	00:00:13
46	00:00:34	00:04:08	00:02:23	00:02:16	00:02:27	00:02:13	00:02:39	00:00:36	00:00:15
47	00:00:39	00:04:06	00:02:18	00:02:18	00:02:29	00:02:07	00:02:27	00:00:35	00:00:16
48	00:00:36	00:03:40	00:02:30	00:02:17	00:02:29	00:02:07	00:02:30	00:00:33	00:00:13
49	00:00:40	00:04:11	00:02:25	00:02:15	00:02:33	00:02:08	00:02:30	00:00:35	00:00:10
50	00:00:38	00:03:10	00:02:27	00:02:14	00:02:30	00:02:18	00:02:40	00:00:34	00:00:16
51	00:00:40	00:03:30	00:02:28	00:02:14	00:02:33	00:02:17	00:02:36	00:00:32	00:00:18
52	00:00:42	00:03:17	00:02:15	00:02:21	00:02:29	00:02:07	00:02:23	00:00:36	00:00:17
53	00:00:30	00:03:14	00:02:25	00:02:17	00:02:28	00:02:14	00:02:33	00:00:36	00:00:16
54	00:00:33	00:03:26	00:02:26	00:02:22	00:02:31	00:02:07	00:02:33	00:00:35	00:00:10
55	00:00:35	00:03:24	00:02:12	00:02:19	00:02:30	00:02:07	00:02:33	00:00:33	00:00:13
56	00:00:33	00:03:30	00:02:18	00:02:13	00:02:32	00:02:08	00:02:40	00:00:35	00:00:13
57	00:00:34	00:03:56	00:02:19	00:02:19	00:02:30	00:02:07	00:02:22	00:00:34	00:00:17
58	00:00:38	00:03:42	00:02:14	00:02:14	00:02:30	00:02:14	00:02:21	00:00:34	00:00:12
59	00:00:35	00:03:58	00:02:27	00:02:21	00:02:28	00:02:09	00:02:36	00:00:33	00:00:10
60	00:00:40	00:03:15	00:02:21	00:02:17	00:02:28	00:02:14	00:02:34	00:00:33	00:00:11
61	00:00:38	00:03:15	00:02:25	00:02:19	00:02:53	00:02:04	00:02:29	00:00:33	00:00:18
62	00:00:41	00:03:04	00:02:24	00:02:10	00:02:28	00:02:16	00:02:31	00:00:36	00:00:11
63	00:00:34	00:03:17	00:02:27	00:02:16	00:02:40	00:02:09	00:02:27	00:00:36	00:00:14
64	00:00:31	00:03:17	00:02:26	00:02:11	00:02:27	00:02:15	00:02:22	00:00:29	00:00:13
65	00:00:33	00:03:18	00:02:24	00:02:17	00:02:12	00:01:58	00:02:23	00:00:28	00:00:15
66	00:00:35	00:03:15	00:02:28	00:02:22	00:02:36	00:02:01	00:02:21	00:00:32	00:00:18
67	00:00:33	00:03:06	00:02:29	00:02:22	00:02:10	00:02:10	00:02:36	00:00:26	00:00:15
68	00:00:37	00:03:22	00:02:34	00:02:06	00:02:18	00:02:08	00:02:22	00:00:33	00:00:14
69	00:00:37	00:03:25	00:02:24	00:02:20	00:02:11	00:02:10	00:02:19	00:00:33	00:00:13
70	00:00:38	00:03:20	00:02:27	00:02:13	00:02:34	00:01:57	00:02:35	00:00:31	00:00:12
71	00:00:33	00:03:23	00:02:28	00:02:16	00:02:12	00:02:00	00:02:20	00:00:29	00:00:15
72	00:00:35	00:03:22	00:02:34	00:02:23	00:02:07	00:02:03	00:02:26	00:00:29	00:00:20
73	00:00:40	00:03:25	00:02:28	00:02:21	00:02:15	00:02:01	00:02:27	00:00:33	00:00:16
74	00:00:39	00:03:25	00:02:30	00:02:10	00:02:38	00:02:16	00:02:32	00:00:27	00:00:13
75	00:00:40	00:03:21	00:02:25	00:02:17	00:02:52	00:02:09	00:02:28	00:00:27	00:00:12

Ordem	COST_BOT1_I	PLC_METAL_CONF	COST_PLC_I	COST_TRAV_I	CONF_ACAB
1	00:00:15	00:00:20	00:00:21	00:00:12	00:00:12
2	00:00:13	00:00:20	00:00:20	00:00:13	00:00:11
3	00:00:12	00:00:19	00:00:20	00:00:12	00:00:09
4	00:00:20	00:00:21	00:00:22	00:00:13	00:00:12
5	00:00:14	00:00:19	00:00:21	00:00:13	00:00:11
6	00:00:11	00:00:21	00:00:19	00:00:10	00:00:11
7	00:00:13	00:00:21	00:00:19	00:00:11	00:00:12
8	00:00:20	00:00:17	00:00:20	00:00:12	00:00:10
9	00:00:16	00:00:16	00:00:22	00:00:13	00:00:12
10	00:00:15	00:00:21	00:00:19	00:00:10	00:00:10
11	00:00:18	00:00:18	00:00:19	00:00:13	00:00:10
12	00:00:12	00:00:19	00:00:21	00:00:12	00:00:10
13	00:00:19	00:00:21	00:00:21	00:00:13	00:00:11
14	00:00:12	00:00:23	00:00:21	00:00:11	00:00:09
15	00:00:16	00:00:22	00:00:19	00:00:10	00:00:09
16	00:00:14	00:00:18	00:00:20	00:00:12	00:00:09
17	00:00:17	00:00:18	00:00:21	00:00:12	00:00:07
18	00:00:17	00:00:17	00:00:22	00:00:11	00:00:10
19	00:00:18	00:00:16	00:00:19	00:00:12	00:00:08
20	00:00:15	00:00:18	00:00:23	00:00:13	00:00:07
21	00:00:15	00:00:17	00:00:23	00:00:11	00:00:09
22	00:00:17	00:00:17	00:00:19	00:00:10	00:00:10
23	00:00:16	00:00:18	00:00:21	00:00:14	00:00:08
24	00:00:17	00:00:17	00:00:21	00:00:12	00:00:09
25	00:00:18	00:00:19	00:00:20	00:00:12	00:00:10
26	00:00:17	00:00:19	00:00:20	00:00:13	00:00:10
27	00:00:17	00:00:20	00:00:21	00:00:12	00:00:09
28	00:00:19	00:00:20	00:00:22	00:00:13	00:00:08
29	00:00:11	00:00:19	00:00:17	00:00:14	00:00:10
30	00:00:17	00:00:17	00:00:19	00:00:12	00:00:09
31	00:00:18	00:00:22	00:00:19	00:00:12	00:00:14
32	00:00:18	00:00:17	00:00:20	00:00:15	00:00:14
33	00:00:17	00:00:22	00:00:25	00:00:14	00:00:13
34	00:00:18	00:00:22	00:00:25	00:00:14	00:00:10
35	00:00:17	00:00:21	00:00:22	00:00:13	00:00:10
36	00:00:15	00:00:22	00:00:24	00:00:11	00:00:11
37	00:00:20	00:00:17	00:00:21	00:00:15	00:00:15
38	00:00:11	00:00:18	00:00:25	00:00:14	00:00:15
39	00:00:20	00:00:19	00:00:17	00:00:13	00:00:13
40	00:00:19	00:00:21	00:00:23	00:00:11	00:00:16
41	00:00:12	00:00:22	00:00:24	00:00:13	00:00:10
42	00:00:11	00:00:22	00:00:22	00:00:17	00:00:14
43	00:00:16	00:00:22	00:00:19	00:00:14	00:00:14
44	00:00:11	00:00:19	00:00:25	00:00:17	00:00:10
45	00:00:17	00:00:18	00:00:20	00:00:11	00:00:10
46	00:00:16	00:00:21	00:00:19	00:00:16	00:00:11
47	00:00:14	00:00:17	00:00:19	00:00:17	00:00:12
48	00:00:15	00:00:20	00:00:22	00:00:19	00:00:11
49	00:00:15	00:00:20	00:00:20	00:00:16	00:00:13
50	00:00:15	00:00:17	00:00:20	00:00:18	00:00:12
51	00:00:16	00:00:21	00:00:21	00:00:18	00:00:10
52	00:00:14	00:00:17	00:00:19	00:00:15	00:00:16
53	00:00:17	00:00:20	00:00:24	00:00:15	00:00:16
54	00:00:15	00:00:18	00:00:19	00:00:16	00:00:11
55	00:00:15	00:00:18	00:00:23	00:00:16	00:00:15
56	00:00:15	00:00:21	00:00:22	00:00:13	00:00:13
57	00:00:15	00:00:21	00:00:19	00:00:15	00:00:12
58	00:00:18	00:00:19	00:00:20	00:00:13	00:00:12
59	00:00:19	00:00:21	00:00:23	00:00:17	00:00:12
60	00:00:18	00:00:20	00:00:23	00:00:18	00:00:13
61	00:00:14	00:00:16	00:00:19	00:00:12	00:00:21
62	00:00:13	00:00:21	00:00:20	00:00:10	00:00:13
63	00:00:14	00:00:22	00:00:18	00:00:13	00:00:11
64	00:00:14	00:00:16	00:00:19	00:00:15	00:00:19
65	00:00:15	00:00:18	00:00:18	00:00:14	00:00:16
66	00:00:16	00:00:16	00:00:20	00:00:15	00:00:19
67	00:00:14	00:00:22	00:00:17	00:00:12	00:00:20
68	00:00:16	00:00:20	00:00:20	00:00:11	00:00:22
69	00:00:15	00:00:18	00:00:21	00:00:10	00:00:13
70	00:00:13	00:00:16	00:00:19	00:00:16	00:00:19
71	00:00:17	00:00:21	00:00:18	00:00:18	00:00:21
72	00:00:13	00:00:22	00:00:19	00:00:13	00:00:16
73	00:00:11	00:00:22	00:00:19	00:00:17	00:00:21
74	00:00:14	00:00:19	00:00:19	00:00:12	00:00:12
75	00:00:16	00:00:20	00:00:18	00:00:17	00:00:19