

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
VIII CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO INDUSTRIAL: PRODUÇÃO E
MANUTENÇÃO

JORGE LUIZ MICHELETTI GOESSLER

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE UMA MÁQUINA DE CORTE EM FOLHAS
DE PAPEL CARTÃO

MONOGRAFIA

PONTA GROSSA

2012

JORGE LUIZ MICHELETTI GOESSLER

**MODELAGEM COMPUTACIONAL DE UMA MÁQUINA DE CORTE EM FOLHAS
DE PAPEL CARTÃO**

Trabalho de Monografia apresentada
como requisito parcial à obtenção do título
de Especialista em Gestão Industrial:
Produção e Manutenção, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos
Colmenero.

PONTA GROSSA

2012



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE UMA MÁQUINA DE CORTE EM FOLHAS DE PAPEL CARTÃO

por

Jorge Luiz Micheletti Goessler

Esta monografia foi apresentada no dia 15 de dezembro de 2012 como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM GESTÃO INDUSTRIAL: PRODUÇÃO E MANUTENÇÃO. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Guataçara Dos Santos Junior
(UTFPR)

Prof. Dr. Flavio Trojan (UTFPR)

Prof. Dr. João Carlos Colmenero (UTFPR)
Orientador

Visto do Coordenador:

Prof. Dr. Guataçara dos Santos Junior
Coordenador CEGI-PM
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

RESUMO

GOESSLER, Jorge L. M. **Modelagem Computacional de uma Máquina de Corte em Folhas de Papel Cartão**. 2012. 68 p. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2012

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de papel e celulose, sendo também de grande importância sua participação no mercado de embalagens de papel e serviços de corte em folhas. A competitividade deste mercado move os gestores de plantas industriais na direção de promoverem contínuas melhorias em seus processos, buscando maiores eficiências no uso de recursos, máquinas e insumos e maiores níveis de produção. A finalidade deste movimento é manter ou aumentar seus níveis de vendas e alcançar a liderança do setor. O presente trabalho está inserido neste contexto, com o objetivo de avaliar a influência das variáveis chaves do processo de corte em folhas “número de operadores disponíveis” e “tempo de transporte de paletes” sobre a produtividade de uma linha de produção de folhas de papel cartão. Para alcançar este fim, utiliza-se a simulação computacional, que permite a análise e experimentação de cenários sem afetar o sistema real, em um modelo elaborado com o uso do *software Simul8*. Os cenários simulam situações de redução de número de operadores disponíveis e incrementos e decréscimos no tempo de transporte de paletes, que seriam obtidos por meio de melhorias no arranjo físico da planta. Verifica-se que com a redução do quadro de pessoal ocorreram decréscimos de até 4,47% na produção da máquina, numa situação de aumento do tempo de transporte de insumos. A análise do impacto destas variáveis separadamente mostra que o quadro de pessoal tem uma maior influência sobre a produtividade do que o tempo de transporte de insumos. Em média, a primeira variável reduz em 3,73% a produção da máquina, e a segunda variável, 0,42%. Pode-se concluir que a manutenção do número de operadores disponíveis merece esforços dos gestores a fim de se manter os níveis de produtividade, e de que deve ser feita a análise da relação custo x benefício de melhorias na planta que promovam a redução dos tempos de transporte de paletes. O presente trabalho também demonstra a importância do uso da simulação computacional como ferramenta de apoio à tomada de decisão, e contribui com a difusão desta metodologia no meio científico e industrial.

Palavras-chave: Simulação. Produtividade. Papel Cartão. Cortadeira.

ABSTRACT

GOESSLER, Jorge L. M. **Computational modeling of a paper board sheet cutting machine**. 2012. 68 p. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2012.

Brazil is one of the major world producers of pulp and paper, being also of great importance its share in the market of paper packaging and sheet cutting services. This market competitiveness moves industrial plants' managers in the direction of promoting continuous improvements in its processes, seeking greater efficiencies in the use of resources, equipment and supplies and higher production levels. The purpose of this movement is to maintain or increase their sales levels and achieve industry leadership. This work is inserted in this context, in order to evaluate the influence of sheet cutting process' key variables "number of available operators" and "pallet transportation time" on the productivity of a paper board sheet production line. To achieve this purpose, it is used computer simulation, which allows scenarios analysis and testing without affecting the real system, with a model developed using Simul8 software. The scenarios simulate situations of available operators' number reduction and pallet transporting times increases and decreases, which would be obtained through improvements in the layout of the plant. With reduction of the personnel it is observed decreases of up to 4.47% in the machine production, in a situation of increased inputs transportation time. The impact analysis of these variables separately shows that the staff has a greater influence on the productivity than the transportation time of inputs. On average, the first variable reduces in 3.73% the machine production, and the second variable, 0.42%. It can be concluded that the maintenance of the available operators' number deserves efforts of managers in order to maintain productivity levels, and the cost-benefit analysis of the plant improvements that promote the reduction of pallets time transportation should be done. This study also demonstrates the importance of using simulation as a decision making supporting tool, and contributes to the dissemination of this methodology in the scientific and industrial environment.

Keywords: Simulation. Productivity. Paper Board. Cutting Machine.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	12
2.2 O PROCESSO DE CORTE EM FOLHAS	13
2.2.1 Descrição do Processo de Corte em Folhas	13
2.2.2 Especificações do Produto Final	16
2.2.3 Especificações das Matérias-Primas	18
2.2.4 Processos Auxiliares	18
2.3 SIMULAÇÃO	20
2.3.1 Simulação Computacional	20
2.3.2 Objetivos da Simulação	21
2.3.3 Vantagens e Desvantagens do uso da Simulação	21
2.3.4. Etapas na Formulação de um Estudo de Simulação	23
2.3.5 Aplicações da Simulação	26
2.3.6. O <i>Software</i> de Modelagem Computacional <i>Simul8</i>	28
3 METODOLOGIA	31
3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO	31
3.2. O PROBLEMA DE PESQUISA	33
3.3. MODELO CONCEITUAL	34
3.3.1 Fluxograma do Processo Analisado	34
3.3.2 Variáveis de Interesse	36
3.4. COLETA DE DADOS	38
3.5. MODELAGEM COMPUTACIONAL	41
3.6 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO	43
3.7. PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
4.1 ORDENS DE PRODUÇÃO DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO	49
4.2 ORDEM DE PRODUÇÃO TESTE	51
5 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	61
ANEXO A - Planilha de coleta de dados de tempos transporte de paletes	65
ANEXO B - Dados de tempos de transporte de paletes coletados	67

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Equação 1 - Cálculo do tempo teórico de processamento de um <i>skid</i>	36
Figura 1 - Etapas do processo de corte em folhas.....	14
Figura 2 - Máquina de corte em folhas.....	16
Figura 3 - Fluxograma do processo de corte em folhas.....	31
Figura 4 - Planta baixa do prédio das cortadeiras.....	32
Figura 5 - Fluxograma detalhado do processo de corte em folhas.....	35
Figura 6 - Verificações e decisões da atividade de alimentação de paletes.....	36
Figura 7 - Cálculo da distribuição estatística do índice <i>MTBF</i> da cortadeira por meio do <i>software Statfit</i>	39
Figura 8 - Cálculo da distribuição estatística do índice <i>MTTR</i> da cortadeira por meio do <i>software Statfit</i>	39
Figura 9 - Imagem do modelo computacional elaborado com o <i>software Simul8</i> para o presente estudo.....	42
Gráfico 1 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado.....	49
Gráfico 2 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado, analisando somente a influência da variável “tempo de transporte de paletes”.....	50
Gráfico 3 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado para a produção padrão.....	51
Gráfico 4 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado para a produção padrão, considerando apenas a influência do número de operadores...	52
Gráfico 5 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado para a produção padrão, considerando apenas a influência dos tempos de transporte....	53
Gráfico 6 - Tempo médio de permanência do <i>skid</i> no sistema para a produção teste.....	54
Gráfico 7 - Taxa de ocupação dos operadores para a corrida teste.....	55
Gráfico 8 - Tamanho médio das filas de paletes para a produção teste.....	56
Quadro 1 - Distribuição de responsabilidades de acordo com o quadro de pessoal.....	33
Quadro 2 - Planejamento dos experimentos.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de tamanhos de filas de paletes e quantidades abastecidas por viagem.....	40
Tabela 2 - Distribuições probabilísticas utilizadas no modelo computacional da cortadeira A.....	41
Tabela 3 - Informações inseridas no modelo computacional para validação do modelo.....	44
Tabela 4 - Resultados da simulação para validação do modelo computacional.....	45
Tabela 5 - Resultados dos testes de hipóteses para validação do modelo computacional.....	46
Tabela 6 – Taxas de ocupação da cortadeira por motivo e cenário testado.....	57

1 INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se no mercado mundial como um grande produtor de papel. Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA (2012), nos últimos dez anos houve um aumento de 27,0% na produção de papel, com crescimento médio de 2,7% ao ano. De acordo com o relatório Conjuntura BRACELPA (ASSOCIAÇÃO..., 2012), no primeiro semestre de 2012 foram produzidas 4.911.000 toneladas de papel no Brasil, resultando em um aumento de 0,6% em relação ao mesmo período no ano passado e significando uma porcentagem de 3% de participação do setor nas exportações brasileiras.

Pela publicação Pesquisa Industrial – Produto (IBGE, 2010), o serviço de corte de papel (ou serviços relacionados) gerou um valor de R\$ 92.448.000,00 em vendas. Segundo a Associação Brasileira de Embalagens (2012), em 2011 a produção de embalagens de papel, papelão e cartão registrou um aumento de 2,91% em relação a 2010, representando 33,30% do total da produção de embalagens no Brasil.

A estabilidade da economia brasileira e o aumento da demanda nos últimos anos têm aumentado a competitividade entre as empresas em diversos setores, e conseqüentemente se faz necessário o estudo do mercado e o planejamento dos investimentos a fim de não comprometer o futuro da empresa (SOUZA; BACHEGA, 2012). Diante deste cenário, tem sido cada vez maior o uso da ferramenta da simulação computacional, que auxilia os gestores na tomada de decisão de problemas complexos de mudança nos sistemas e fluxos existentes, ou no projeto de novos sistemas (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

A crescente popularidade da simulação computacional foi notada por Kelton, Sadowski e Sadowski (2001). A principal razão do crescente uso desta ferramenta foi sua habilidade em lidar com modelos complexos de sistemas reais igualmente complexos. As contínuas melhorias em hardware e software, que permitiram o acesso a usuários sem experiência em programação computacional e sem grandes investimentos, contribuíram para a disseminação da simulação computacional.

Segundo Prado (2001), a simulação possui inúmeras aplicações no mundo atual, nas áreas mais diversas. É possível utilizá-la para identificação de gargalos, otimização de política de estoques, prever o comportamento de sistemas de manufatura com a introdução de novos equipamentos, alterações no fluxo ou

programação de atividades, identificação de melhores rotas em sistemas logísticos, dimensionamento de infra-estrutura como portos e aeroportos, redução de filas, avaliação de confiabilidade de sistemas, estudos de utilização de capacidade instalada, entre outros. Setores de manufatura, logística, comunicações, comércio e serviço, processamento de dados, área militar, finanças, meio ambiente, utilizam a simulação computacional, o que demonstra a importância desta ferramenta na busca de otimização de resultados e compreensão do comportamento de sistemas.

Constatada a importância do setor de celulose e papel, em especial o de corte em folhas, e considerando um contexto de alta competitividade no mercado, se faz necessário para as organizações industriais buscar constantemente o aumento de produtividade a fim de manter a sobrevivência e alcançar a liderança no setor.

Tendo em vista esta necessidade, o presente estudo tem como objetivo geral avaliar a influência das variáveis chaves “número de operadores disponíveis” e “tempo de transporte de insumos” sobre a produtividade de uma máquina de corte em folhas de uma grande empresa de papel e celulose do interior do Paraná, por meio de simulação computacional. Foram estabelecidos como objetivos específicos o desenvolvimento de um modelo de simulação que represente um sistema produtivo de uma planta de corte em folhas, quantificar a influência das variáveis selecionadas e propor melhorias que se traduzam em aumento de produtividade da planta. A compreensão do comportamento deste sistema perante a manipulação destas variáveis com fins de aumento de produção justifica o esforço demandado por este trabalho.

A motivação deste estudo advém do pequeno número de estudos a respeito do processo de corte em folhas no Brasil, sendo quase nulos os de simulação computacional neste setor industrial. Pelo fato de promover o uso de uma metodologia científica com o objetivo de melhorar processos produtivos este trabalho torna-se relevante, tornando-se um elo de ligação entre a universidade e a indústria.

A presente monografia está estruturada em cinco capítulos, a seguir:

1. Introdução. Apresentação do tema da pesquisa, o problema a ser pesquisado e sua justificativa, além da estrutura do trabalho.
2. Revisão de literatura. Fundamentação teórica adotada para tratar o tema e o problema de pesquisa, elaborando a estrutura conceitual que dará sustentação ao desenvolvimento da pesquisa. Serão abordados conceitos

gerais do processo de fabricação de papel, corte em folhas e simulação computacional.

3. Metodologia. Definição de como e onde foi realizada a pesquisa, a amostragem, população, instrumentos de coleta de dados e modo de apresentação dos resultados. São apresentados o modelo conceitual do sistema estudado, os procedimentos de coleta e tratamento dos dados, o método de elaboração e validação do modelo computacional e o planejamento dos experimentos.
4. Resultados e discussões. Interpretação e análise dos resultados obtidos por meio da experimentação com o modelo computacional elaborado, confrontando dados com o objetivo de comprovar ou refutar as hipóteses levantadas.
5. Conclusões. Síntese dos resultados obtidos, explicitando se os objetivos foram alcançados e se os pressupostos foram confirmados ou rejeitados. Também são apresentados recomendações de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, foi feita uma revisão de literatura dos processos de fabricação de papel e corte em folhas, abordando os tópicos relevantes para o presente trabalho. Também serão expostas referências de simulação, que será a ferramenta utilizada no estudo.

2.1 O PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL

O papel é um dos produtos industrializados mais consumidos no mundo e, há séculos, faz parte do cotidiano da humanidade. É um dos mais importantes meios de registro e transmissão de informações, sendo indispensável para a publicação de livros, jornais, revistas e documentos, segundo a BRACELPA (2012). Também apresenta várias outras aplicações, tão essenciais quanto a difusão de conhecimento, como por exemplo, papéis para higiene pessoal e embalagens.

O papel é constituído principalmente de polpa de celulose, obtida pelo processamento da madeira. A madeira é utilizada como matéria-prima devido a sua abundância e relativa facilidade de produção.

Em uma planta de celulose e papel, o processo inicia-se na área de recepção de madeira, onde as toras são cortadas, descascadas e picadas. A madeira picada denomina-se cavaco e prossegue para a etapa de fabricação de celulose, cujo principal objetivo é retirar a lignina presente na madeira e separar as fibras, por meio de processos que utilizam energia mecânica, térmica, química ou a combinação dos três (SAMISTRARO et al, 2009). Os cavacos são transformados então em polpa celulósica, que pode seguir diretamente para o processo de fabricação de papel ou ainda passar por uma etapa de branqueamento, para eliminar os componentes que dão a cor marrom à celulose.

Já na área de fabricação de papel, antes de ser recebida pela máquina, a polpa normalmente recebe um tratamento mecânico denominado refinação, para conferir características de resistência à folha. Também é depurada para remover impurezas e recebe uma carga de aditivos químicos, que irão conferir características especiais ao papel ou facilitar o processo de fabricação.

A polpa celulósica tratada chega então à máquina de papel, onde é distribuída uniformemente sobre uma tela onde ocorre o desaguamento por gravidade. Esta camada de fibras agora é enviada para uma área de prensagem, onde sofre ação mecânica para remoção da água, e depois para uma seção e secagem, entrando em contato com cilindros que estão aquecidos por vapor para promover a saída da água residual. (ASSOCIAÇÃO..., 2012). A folha de papel formada então pode sofrer outros processos, como calandragem (prensagem controlada que ajusta o perfil de espessura do papel), aplicação de tinta, amido, etc. Todo o processo é controlado de maneira a proporcionar uniformidade nos perfis de umidade, gramatura e espessura, além de outras características que variam de acordo com a aplicação do papel: rigidez, aspereza, cor, formação, lisura etc.

Finalmente, a folha de papel é enrolada em rolos jumbo, que são então enviados a uma rebobinadeira para cortá-los em bobinas nos formatos e diâmetros solicitados pelos clientes.

2.2 O PROCESSO DE CORTE EM FOLHAS

As bobinas de papel podem ser cortadas em folhas para uso em gráficas e fábricas de embalagens. As seções seguintes descrevem este processo de corte.

2.2.1 Descrição do Processo de Corte em Folhas

O processo de corte em folhas tem por função transformar bobinas de papel em pilhas de folhas, que podem ser resmas ou *skids*, com formato e número de folhas determinados pelo cliente final. As máquinas que realizam este trabalho são normalmente conhecidas como cortadeiras.

As cortadeiras podem ser classificadas em três tipos: *folio sheet cutting machines* (ou *folio sheeters*), *cut size machines* e guilhotinas. As duas primeiras diferem principalmente pela flexibilidade de formatos. Uma *folio sheeter* permite o corte em diferentes larguras e comprimentos de folha, enquanto uma *cut size* realiza o corte em formatos padrão (A3, A4, etc.). As guilhotinas são equipamentos mais simples, hoje mais comumente utilizados para retrabalhos, cortes de pedidos pequenos ou amostras. (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

As máquinas de corte também podem diferenciar-se pelo material processado, que pode ser papel para imprimir e escrever ou papel cartão. A construção das máquinas é muito semelhante, entretanto as máquinas de corte de papel costumam cortar várias folhas ao mesmo tempo, enquanto as de cartão cortam uma única folha. (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

Um processo de corte é basicamente composto pelas etapas da figura 1.

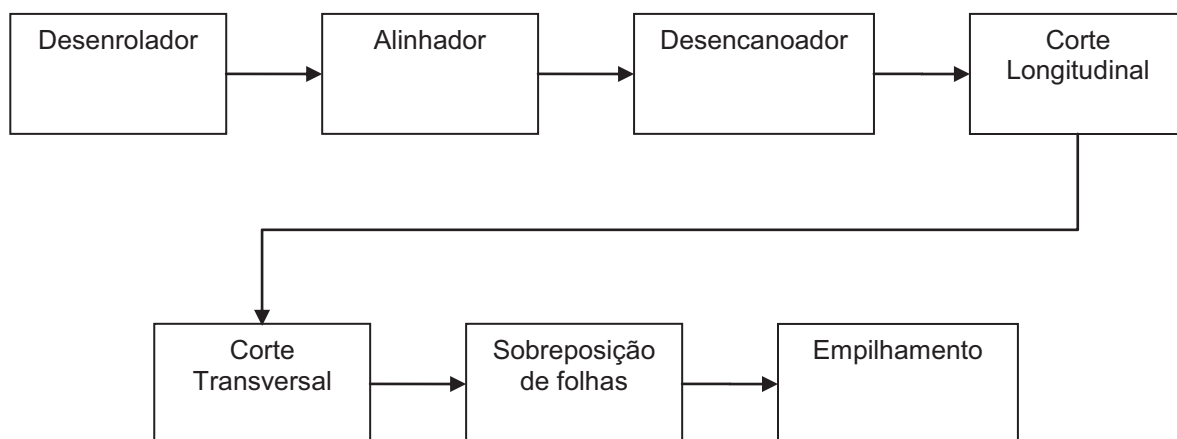


Figura 1 - Etapas do processo de corte em folhas
 Fonte: autoria própria.

- **Desenrolador:** é a primeira etapa do processo de corte, e ocorre na seção do porta-bobinas. As bobinas são suspensas a fim de serem desenroladas para o corte, com tensão controlada. A unidade é composta por pares de braços que sustentam as bobinas, um sistema de controle de tensão da folha, e um sistema para emenda das folhas. Segundo a MarquipWardUnited (1998), o emendador proporciona a alimentação contínua de papel para a cortadeira, mantém a velocidade da linha e controla a tração do papel. Nas máquinas mais antigas, este dispositivo não existia, exigindo uma parada de máquina para preparação e realização a emenda. Nas máquinas mais modernas, este sistema permite a preparação da emenda antes da parada da máquina, e no sistema *flying splicing* a emenda é feita sem parada da cortadeira (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000);
- **Desencanoador:** é uma série de rolos de diferentes diâmetros pelos quais a folha passa antes do corte, com o objetivo de desencanoar o papel, tornando-o mais plano. De acordo com a MarquipWardUnited (1998), o diâmetro destas barras e a sua posição determinam a intensidade e a

direção da ação de desencanoamento. O efeito de encanoamento é especialmente notado no final de uma bobina, devido ao maior abraçamento da folha ao tubete;

- Alinhador: sistema responsável pelo alinhamento da folha antes da seção de corte, mantendo a folha sempre estável no sentido transversal;
- Sistema de corte longitudinal: apara as beiradas do cartão, gerando fitas de papel denominadas refis, e corta o cartão em saídas múltiplas (MarquipWardUnited, 1998), determinando a largura das folhas e quantidade de formatos cortados simultaneamente por meio de corte com facas rotativas. O sistema é composto por uma faca rotativa que faz pressão sobre um disco rotativo denominado contra faca, de maneira que cria-se uma “tesoura” por onde o papel é cortado ao passar. Características importantes como pressão, ângulo profundidade da penetração, material e condições da faca devem ser controlados para um bom corte (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000). Nas laterais são instalados bocais com vácuo para a sucção do refil;
- Sistema de corte transversal: determina o comprimento da folha, por meio de um sistema de corte transversal rotativo, que corta toda a largura da folha a cada rotação. Os dois sistemas mais comuns são compostos por um tambor rotativo e uma faca fixa, ou dois tambores rotativos, que a cada volta formam uma “tesoura” que corta o papel. O comprimento da folha será determinado pela relação da velocidade linear da folha e da rotação da faca de corte transversal. Logo na saída do facão está localizado o portão de descarte de folhas, que é uma parte da esteira transportadora que funciona como um alçapão, pivotando e descartando folhas defeituosas;
- Seção de sobreposição: aqui, a parte traseira de uma folha é abaixada enquanto a folha de trás é empurrada por cima desta, para que as folhas fiquem sobrepostas uma sobre as outras. Isto é necessário para que ocorra um correto empilhamento das folhas, e também faz com que a velocidade com que as folhas cheguem ao empilhador seja menor que a velocidade linear durante o corte. Esta redução de velocidade tem o objetivo de evitar danos às folhas no momento que formam a pilha (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000);

- Empilhador: O empilhador recebe as chapas já cortadas, as alinha e empilha sobre um palete para a formação do *skid* (MarquipWardUnited, 1998). Os *skids* são separados no empilhador por meio de chapas vibratórias, para evitar que as folhas de um *skid* misturem-se com a de outro, e também para manter o alinhamento regular das laterais do mesmo. Cortadeiras modernas apresentam sistemas automáticos de alimentação de paletes e de transporte de *skids*.

A figura 2 mostra uma típica máquina de corte em folhas.



Figura 2 - Máquina de corte em folhas
Fonte: MarquipWardUnited (2012).

Existem outros sistemas auxiliares no processo de corte, como os picadores de refile, desagregadores ou prensas de refile, detectores de defeitos, sistemas de aspiração de pó, sistemas automáticos de alimentação de paletes, sistemas de transporte de *skids* e de bobinas, etc.

2.2.2 Especificações do Produto Final

O produto final da linha de produção de uma cortadeira é um conjunto de folhas pesado, embalado e identificado. Este conjunto de folhas pode ser um *skid*,

que são pilhas de folhas sobre um palete, ou resmas de papel, em menor número e formato, embaladas em plástico ou papel cartão.

Os clientes que consomem papel em folhas possuem demandas específicas. Características como formato, número de folhas, gramatura e tipo do papel devem estar de acordo com o pedido do cliente. A direção do corte relaciona-se com o formato solicitado pelo cliente e a rigidez do papel. A rigidez da folha na direção da máquina, ou vertical, é normalmente maior que no transversal, o que pode afetar a qualidade da embalagem final (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000). O esquadro da folha refere-se ao ângulo formado entre os cantos da folha, que deve ser de 90°. Folhas em formato trapezoidal geram falhas de impressão.

A planicidade da folha é importante para evitar embolamentos nas impressoras e outros equipamentos do cliente. Assim, a falta de planicidade (o termo técnico usado é encaçamento ou *twist*), deve ser corrigida nas máquinas de corte, e se não for possível corrigi-lo, deve-se preferencialmente deixá-lo levemente negativo, ou seja, com a curvatura para baixo. Se a curvatura estiver para cima, as folhas serão esmagadas nas impressoras e máquinas de colagem dos clientes (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

As laterais das folhas devem apresentar um bom aspecto, sem fibras soltas ou “arrepiaadas” que gera um aspecto denominado “corte aveludado”. Este é gerado principalmente por facas, contra facas e o facão gastos, danificados ou desalinhados. A cortadeira também deve possuir um sistema de remoção de pó de corte.

O papel deve estar ausente de manchas, marcas, furos, estrias e rugas, pois os mesmos irão gerar defeitos de impressão. Também deve estar ausente de corpos estranhos como partículas metálicas, pó, pedaços de papel e/ou refile solto, insetos, e outros, que podem gerar quebras e danos nos equipamentos dos clientes. (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

O empilhamento das folhas também deve garantir que as mesmas estejam verticalmente e horizontalmente alinhadas, evitando que a pilha apresente inclinação ou folhas desalinhadas entre si. Problema como excesso de acúmulo de sobreposição, batentes do empilhador desalinhados, velocidade de descida do empilhador muito rápida podem gerar este problema (MarquipWardUnited, 1998). A embalagem deve garantir a integridade do *skid* e protegê-lo de agentes externos e contaminações, e conter a correta identificação do mesmo.

2.2.3 Especificações das Matérias-Primas

As bobinas de papel são a principal matéria prima das cortadeiras, portanto, suas características são determinantes da qualidade do produto final e do bom andamento do processo de corte em folhas.

A largura da bobina deve estar conforme a programação de produção, e também não deve variar ao longo do diâmetro da bobina. Larguras maiores que o solicitado implicam em maiores perdas por refile, e larguras menores podem fazer com que o refile acompanhe a folha, ou no caso de corte sem refile, fazer com que a folha fique menor que o determinado. As variações de largura geram o mesmo efeito durante o corte. (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

A planicidade do papel que é cortado em folhas também deve ser monitorada. Quanto mais plano o papel a ser cortado, maior a possibilidade das folhas cortadas também o serem.

A tensão de rebobinamento de ser tal que a mesma não fique frouxa, nem muito tensionada. No primeiro caso, podem ocorrer variações no comprimento da folha na cortadeira, e em ambos, rompimentos de folha. Variações de tensionamento da folha podem gerar encanoamento, trincas e rugas, além de tornar a ação do sistema de desencanoamento mais ineficaz (GULLICHSEN; PAULAPURO, 2000).

O corte lateral das bobinas deve estar ausente de arrepelamento, fibras expostas, pó e danos, a fim de evitar rompimentos de folha e pó na máquina de corte. As emendas devem estar devidamente identificadas para serem descartadas na seção de descarte de folhas.

2.2.4 Processos Auxiliares

Paralelamente ao processo de corte, existem outros processos que dão apoio à produção de folhas e que influenciam diretamente na eficiência do mesmo. Gullichsen e Paulapuro (2000) citam alguns destes processos, sendo que para este estudo destacam-se o retrabalho, manuseio dos refugos e perdas, e armazenagem de bobinas e outros insumos. O mesmo autor afirma que tais processos são grandes consumidores de espaço físico e disponibilidade da operação.

Os processos de retrabalho são necessários nos casos em que o *skid* não alcança a especificação do cliente por deméritos que possam ser corrigidos sem

prejudicar a qualidade final do produto (número insuficiente de folhas, folhas dobradas ou danificadas no meio do *skid*, presença de corpos estranhos, etc.). As folhas defeituosas são retiradas manualmente ou com o auxílio de equipamentos denominados *pile turners*.

O refugo em plantas de corte podem ter diversas origens:

- Bobinas defeituosas precisam ter suas folhas danificadas retiradas, ou ainda serem inteiramente refugadas;
- Normalmente são retiradas as voltas iniciais das bobinas, pois podem estar sujas ou apresentarem defeitos;
- Sobras de bobinas (denominadas “tarugos”) que podem aumentar de acordo com a qualidade do papel, tipo e gramatura do papel;
- Papel descartado em passagem de ponta, rompimentos de folha, folhas descartadas durante o processo devido embolamentos, dobras, amassamentos;
- Refile;
- *Skids* defeituosos saídos da cortadeira, ou danificados durante embalagem e movimentação.

Estes refugos podem ser reaproveitados em pulperes e enviados novamente a uma máquina de papel, no caso de fábricas integradas, ou processados em prensas que formarão fardos. O refile normalmente é picado e enviado para uma destas unidades. Os *skids* podem ser retrabalhados, dependendo do tipo de defeito.

Além destas perdas, outros materiais como embalagem e plugues das bobinas, paletes defeituosos, restos de material da embaladeira, etc., precisam ser manuseados, organizados e descartados ou reaproveitados. Isto exige tempo operacional, espaço e ferramentas, reduzindo o tempo disponível para atividades que agregam valor e prejudicando o fluxo de materiais na planta de corte.

Adicionalmente ao manuseio e estocagem do material a ser retrabalhado ou inspecionado e refugos, também há todo o fluxo das matérias primas e produtos finais. Conforme Gullichsen e Paulapuro (2000), os paletes e as caixas para as resmas são os maiores consumidores de espaço. Para o processo de corte *folio*, é praticamente inexistente a padronização de formatos, aumentando mais ainda a complexidade desta atividade, pois normalmente são estocadas uma grande

quantidade de paletes para atender os diversos formatos a serem cortados. O mesmo não ocorre com o corte *cut size* devido a padronização dos formatos. As bobinas e *skids* são normalmente armazenados em áreas distintas da planta.

2.3 SIMULAÇÃO

2.3.1 Simulação Computacional

A complexidade no gerenciamento de uma indústria pode ser notada em setores como o sucroalcooleiro, em que se verifica uma tendência de redução de estoques de matéria prima para manter a qualidade do produto final, demandando maiores esforços para o planejamento e controle da produção (SILVA; ALVES; COSTA, 2011). A necessidade constante de otimização do processo por meio de identificação de gargalos e balanceamento de linhas de produção, com a finalidade de aumento de capacidade produtiva e assim garantir a sobrevivência da empresa (SILVA et al, 2010) contribui para incrementar esta complexidade, assim como demandas de redução de custos, maior agilidade de entrega, e todos os aspectos em que as empresas competem pela liderança no mercado. Neste contexto, tem sido cada vez maior o uso da ferramenta da simulação computacional para auxílio na tomada de decisão.

Segundo Kelton, Sadowski e Sadowski (2001), a simulação refere-se a um conjunto de métodos e aplicações para imitar o comportamento de sistemas reais, normalmente com o uso de softwares apropriados, por meio de modelos dos mesmos. Os sistemas podem ser instalações ou processos, e a modelagem é um conjunto de aproximações e hipóteses estruturais e quantitativas sobre o modo como o sistema funciona. Para modelos simples, ferramentas matemáticas tradicionais são suficientes para a análise do sistema, entretanto, se a complexidade do modelo for significativa, é necessário o uso da simulação computacional.

A simulação computacional é o processo de criar um modelo em computador de um sistema, com o objetivo de realizar experimentos que nos proporcionem uma melhor compreensão sobre este sistema, sob um determinado conjunto de condições (KELTON; SADOWSKI e SADOWSKI, 2001).

Já para Prado (1999), a definição mais utilizada de simulação é “uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”. Assim, o autor afirma que o uso do computador para a simulação é indispensável.

2.3.2 Objetivos da Simulação

Para Kelton, Sadowski e Sadowski (2001), análises obtidas por meio de um simulador têm a finalidade de medir o desempenho de um sistema, melhorar seus processos ou projetá-lo caso não exista.

Segundo Freitas (2001), a simulação busca principalmente a descrição do comportamento do sistema, a construção de hipóteses considerando as observações efetuadas e a previsão de comportamentos futuros do sistema.

Pelas definições anteriores, podemos dizer que o principal objetivo de um trabalho de simulação é obter um maior conhecimento do sistema por meio de um modelo que permita análises, inferências e previsões sobre o sistema real. Por esta razão, esta ferramenta tem sido cada vez mais empregada por técnicos de diversas áreas para solucionar problemas com os quais lidam diariamente (FREITAS, 2001).

2.3.3 Vantagens e Desvantagens do uso da Simulação

Autores como Kelton, Sadowski e Sadowski (2001), Souza e Bachega (2012), Klen, Guimarães e Pereira (2008), Silva et al (2010) e Freitas (2001), citam algumas das vantagens do uso da simulação:

- Habilidade de lidar com problemas complexos;
- Possibilidade de identificação de gargalos, que é a maior preocupação gerencial em inúmeros sistemas;
- Visão sistêmica de todo o processo e visualização das inter-relações entre as variáveis;
- Não interferência no sistema real durante a experimentação;
- Possibilidade de realização de testes antes da implementação de mudanças no sistema real;

- Formulação de hipóteses de “como” e “porquê” determinados fenômenos ocorrem;
- Experimentação de novas situações sobre as quais se tem pouco conhecimento ou experiência;
- Manipulação do tempo, de maneira que eventos que dispenderiam muito tempo para serem avaliados podem ser analisados em questão de segundos;
- Permite testar de forma rápida diversos cenários e alterações em variáveis;
- Maior facilidade de aplicação em comparação a métodos analíticos.

Por outro lado, os mesmos autores também demonstram que há desvantagens no uso da simulação:

- Necessidade de conhecimento específico do software utilizado, que implica em custos e tempo de treinamento;
- Muitos modelos envolvem *inputs* (entradas) randômicas, o que faz com que os resultados sejam variáveis randômicas também, tornando a interpretação mais difícil;
- Simplificações excessivas dos modelos podem invalidá-los por torná-los muito distantes da realidade;
- Muitas vezes não se sabe se um determinado resultado de um modelo é causado por uma alteração controlada em uma variável, ou devido às interações entre os elementos do sistema, dificultando a interpretação dos resultados;
- A modelagem e análise do sistema pode ser muito dispendiosa em termos de tempo e recursos, porém se estas etapas não forem realizadas com critério todo o modelo pode ser invalidado.

A atenuação ou eliminação destas desvantagens têm sido objetivo de diversas empresas de *software*, que desenvolvem continuamente soluções como modelos pré-concebidos nos quais são necessários apenas a inserção de dados de operação, tornando a programação computacional mais amigável. De maneira

análoga, pacotes com ferramentas de análises de dados de entrada e saída têm facilitado a interpretação dos resultados, e a evolução das plataformas computacionais contribui com uma maior rapidez do processamento dos dados da simulação.

2.3.4. Etapas na Formulação de um Estudo de Simulação

Autores como Kelton, Sadowski e Sadowski (2001) e Freitas (2000) trazem em seus trabalhos uma metodologia para o uso da simulação computacional. Silva, Alves e Costa (2011) e Sakurada e Myiake (2009) compilaram a metodologia desenvolvida por vários autores e as utilizaram em seus estudos. As etapas em comum nas metodologias utilizadas por estes autores seriam:

1. Definição do problema a ser estudado;

O propósito e os objetivos do estudo devem ser claramente definidos, pois irão nortear todas as etapas subsequentes do trabalho. Nesta etapa devem ser esclarecidas questões como porque o problema está sendo estudado, respostas esperadas, escopo do projeto e critérios de avaliação;

2. Planejamento do projeto;

Abrange a verificação dos recursos disponíveis para execução do projeto, descrição dos cenários a serem investigados e elaboração de um cronograma das atividades a serem desenvolvidas, estipulando um prazo para finalização do projeto;

3. Formulação de um modelo conceitual;

Deve ser elaborado um esboço do sistema real, na forma gráfica de um fluxograma ou algoritmo, definindo os componentes, processos, variáveis, interações e restrições de interesse do estudo;

4. Coleta e preparação dos dados;

Obtenção das informações, dados e estatísticas necessárias para a alimentação do sistema modelado. Sakurada e Miyake (2009) comentam em seu trabalho que esta etapa é realizada em paralelo ao da elaboração do modelo conceitual, pois baseado nestas informações coletadas é que hipóteses e relacionamentos entre variáveis são incorporados ao modelo. A preparação de dados envolve qualquer tratamento estatístico necessário para traduzi-los para a forma necessária para a simulação;

5. **Elaboração do modelo computacional;**
Codificação do modelo conceitual com seus dados e relações previamente levantados numa linguagem computacional apropriada;
6. **Verificação e validação do modelo;**
Confirmar se o modelo opera da maneira esperada, a mais semelhante possível do modelo real. A atividade verificação busca erros na programação do modelo computacional, e a validação realiza testes de aderência, comparando dados gerados pelo simulador com os obtidos pelo sistema real;
7. **Experimentação;**
Envolve o planejamento e execução de experimentos com o simulador já validado, com o objetivo de responder às questões levantadas na etapa de formulação do problema. Devem ser construídos cenários detalhando como cada um dos experimentos serão realizados (variáveis a serem testadas, indicadores a serem monitorados, resultados esperados, etc.) e a execução da simulação computacional para a obtenção de informações sobre cada uma destes cenários simulados;
8. **Análise dos resultados;**
Interpretação dos resultados obtidos dos experimentos, e inferências realizadas a partir destes resultados. Os resultados dos diferentes cenários devem ser comparados para se verificar qual atinge o objetivo do estudo, ou que mais se aproxima dele. Kelton, Sadowski e Sadowski (2001) sugerem três modos de comparação dos resultados: a análise de candidatos, comparativa e preditiva. A primeira, realizada nas fases iniciais do projeto, seleciona de várias alternativas potenciais quais devem ser analisadas mais pormenorizadamente. A análise de candidatos compara os resultados de diferentes cenários entre si, em menor número que a de candidatos. A preditiva toma um pequeno número de cenários, em geral apenas um, para um estudo mais detalhado e exaustivo de seus resultados;
9. **Documentação e apresentação dos resultados**
A documentação refere-se ao registro de informações chave do projeto elaborado que permita que alguém não familiarizado com o mesmo compreenda os resultados e procedimentos e realize modificações no

mesmo. Devem incluir os objetivos do projeto, parâmetros de entrada utilizados, descrição do sistema, métodos de coleta e análise dos dados de entrada, técnicas de validação e verificação do modelo, descrição dos experimentos e dos cenários, resultados obtidos e descrição dos métodos de análise considerados. A apresentação geralmente é realizada mostrando os resultados do modelo aos interessados (clientes, gerentes, supervisores, etc.).

Uma consideração importante sobre as etapas da metodologia de aplicação computacional é feita por Kelton, Sadowski e Sadowski (2001). Segundo tais autores, um estudo de simulação, embora possua uma série de etapas estabelecidas, é um processo dinâmico no qual as etapas interagem-se à medida que novas informações e conclusões são obtidas. Assim, é frequente que etapas anteriores do projeto, já realizadas, sejam revisitadas e revistas durante todo o processo de realização do estudo.

Souza e Bachega (2012) afirmam em seu estudo de caso que certos cuidados devem ser tomados ao utilizar a ferramenta da simulação, como o uso de distribuições probabilísticas nos dados de entrada, a fim de representar corretamente as variâncias do sistema real, e também o tratamento estatístico dos resultados, a fim de permitir conclusões melhor embasadas dos resultados da simulação.

Freitas (2001) também cita outros erros comuns cometidos na aplicação da simulação:

- Pouco conhecimento ou afinidade com a ferramenta utilizada;
- Objetivos com pouca clareza ou definição, que não conduzem a uma definição apropriada do que deve ser resolvido ou analisado;
- Construção de modelos muito detalhados, que levam a um alto tempo de desenvolvimento e também dificuldade na interpretação dos resultados. O nível de detalhes deve ser suficiente para satisfazer somente os objetivos traçados;
- Realização de conclusões com base em uma única replicação.

O cumprimento de uma metodologia para o estudo envolvendo modelagem e simulação certamente reduz a probabilidade da ocorrência destes tipos de erros.

2.3.5 Aplicações da Simulação

Freitas (2001) e Prado (1999) exemplificam algumas das aplicações mais comuns da simulação:

- Sistemas de produção: análises de modelos de manufatura e montagem, movimentação de peças e matéria prima, alocação de mão de obra, arranjo físico;
- Logística: redes de distribuição, armazéns e entrepostos, frotas, modelos de portos e aeroportos, otimização de rotas, entre outros;
- Sistemas de prestação de serviços e sistemas administrativos: hospitais, bancos, restaurantes, seguradoras, operadoras de crédito, etc.;
- Comunicações e informática: redes de computadores, de comunicação, servidores, sistemas operacionais, dentre outros

Muitos pesquisadores já realizaram estudos sobre simulação. Alguns exemplos recentes são os de Ekren e Ornek (2012), que avaliaram a influência de alguns parâmetros pré-definidos de processo no desempenho de um sistema de manufatura. Estes parâmetros eram o arranjo físico (célula ou funcional), tamanho de lote, capacidade de transporte, programação de produção e paradas por quebra de máquina. Estatisticamente foi comprovada a influência de todos os cinco fatores na medida de desempenho determinada, sendo os melhores resultados obtidos com o arranjo físico funcional.

Azadeh et al (2011) elaborou um estudo de caso de uma linha de produção de refrigeradores, na qual o gargalo é a etapa de injeção de moldes. A empresa desejava aumentar a produção para manter-se competitiva, e para isto necessitava otimizar o arranjo físico desta linha de produção. Por meio da simulação e de uma metodologia desenvolvida pelo autor, foi possível encontrar um arranjo físico que maximizasse a produção da linha.

O estudo de Silva, Alves e Costa (2011) tinha por objetivo reduzir a quantidade de cana de açúcar estocada no pátio de uma usina, a fim de

proporcionar maior qualidade do produto final, uma vez que a matéria prima degrada-se com o tempo. A principal variável manipulada foram os turnos de trabalho nas frentes de corte, carregamento e transporte. Verificou-se que com duas turmas e uma defasagem de duas horas entre o início do turno de cada uma obteve-se um menor nível de matéria prima no pátio, além de um abastecimento mais estável.

Hensler e Mohamed (2001) utilizaram simulação computacional para comparar o fluxo de materiais em processo e taxa de produção de uma planta hipotética sob as configurações de um arranjo funcional e celular. Um dos objetivos era verificar sob quais condições um arranjo era superior ao outro sob a métrica determinada, variando também o tamanho de lote e tempo de setup. Os autores testaram 64 combinações diferentes destas variáveis e concluíram que a partir de uma redução de 70% no tempo de setup o arranjo celular é superior ao funcional. O particionamento do arranjo celular leva a uma deterioração nas características do fluxo produtivo, o que deve ser compensado pela redução do tempo de setup. Também foi notada uma diferença insignificante em relação à quantidade de unidades produzidas. O que os autores concluem é que, mesmo que ocorram diferenças entre o fluxo para os dois arranjos sob determinadas condições de tamanho de lote e tempo de setup, isto não ocorre à custa da taxa de produção.

Já Klen, Guimarães e Pereira (2008) propuseram o uso da simulação na área hospitalar. Os autores avaliaram o dimensionamento dos recursos para um projeto de um centro de imobilizações ortopédicas, principalmente o número de técnicos e médicos, utilizando dados de um centro já existente. Simularam-se cenários com diferentes quantidades destes recursos e também variações nos fluxos de chegada de pacientes, chegando-se à conclusão que o melhor resultado (menor tempo de espera, menor fila e maior taxa de ocupação dos recursos) se deu com dois técnicos de imobilização e um médico. Também se sugeriu a ampliação da sala de imobilizações ortopédicas, que permitiria o trabalho simultâneo dos dois técnicos.

Mesmo com um grande número de estudos na área de simulação, percebe-se que há uma falta destes trabalhos no setor de celulose e papel, sendo ainda mais raros os estudos na área de corte em folhas.

2.3.6. O *Software* de Modelagem Computacional *Simul8*

O *software* para simulação de eventos discretos *Simul8* foi desenvolvido no início da década de 90 na Universidade de Strathclyde (Escócia) para uso didático em disciplinas de simulação (CHWIF; MEDINA). É um *software* para simulação de eventos discretos que permite ao usuário criar um modelo visual do sistema em investigação arrastando e soltando objetos pré definidos diretamente na tela do computador. Estes objetos, ou blocos, são utilizados para descrever uma aplicação real e funcionam como comandos de uma linguagem de programação previamente projetados para atender as demandas do usuário, que necessita apenas configurá-los inserindo os dados desejados (VISUAL THINKING INTERNATIONAL LTDA.) Este sistema de simulação reduz a necessidade de conhecimentos prévios de programação, facilitando o uso do *software*.

Este tipo de *software* ainda permite que se visualize uma animação da simulação, sendo possível identificar os fluxos de materiais e recursos, eventos, variações nos estoques, etc.

Segundo Chwif e Medina, qualquer modelo pode ser construído no *Simul8* por meio dos seguintes elementos básicos: chegada (*Work Entry Point*), fila (*Storage Bin*), centro de trabalho (*Work Center*), recurso (*Resource*) e saída (*Work Exit Point*) e mais as ferramentas de conexão e os *work itens*. Segue uma descrição dos mesmos:

- *Work entry point*. São os pontos de entrada de *work itens* ao sistema. Este bloco controla a maneira como os itens entram no modelo, por meio de distribuições estatísticas, parâmetros fixos ou lógicas de programação;
- *Storage area*. Onde o trabalho aguarda em uma fila para ser processado. Este bloco pode ser configurado em capacidade, validade dos *work itens* (quanto tempo ele pode permanecer na fila), e como ele é distribuído às etapas seguintes;
- *Work Center*. São os blocos onde o trabalho é realizado sobre os *work itens* por máquinas ou trabalhadores. É possível configurar o tempo necessário para processar cada *work item*, de que maneira estes itens entram e saem e para onde, tempos de paradas e ajustes, dentre outros. Sua função básica é promover uma mudança de estado num *work item*;

- *Work Exit Point*. É o ponto de saída dos *work itens* do sistema, representando um produto ou serviço realizado. Podem existir vários *work exit points* para diferentes *work itens*, representando não apenas os produtos finais, mas também refugos, clientes insatisfeitos, etc.;
- *Resources*. Recursos são representados por operadores de máquinas, ferramentas, equipamentos, etc. que são compartilhados por mais de um centro de trabalho;
- *Work Items*. São entidades temporárias do sistema, criadas nos *work entry points*, modificadas nos *work centers* e destruídas nos *work exit points*. Representam o trabalho em andamento do sistema (produtos sendo processados, clientes em atendimento, etc.);
- *Routing Arrows*. São setas que representam as conexões entre os diversos elementos do sistema, permitindo o fluxo de *work itens* no modelo.

Estes diferentes elementos são inseridos na tela do simulador e conectados uns aos outros de maneira a representar o sistema real. Cada bloco pode ser configurado com os dados e distribuições probabilísticas obtidas por meio de coleta de dados do sistema real, e então o modelo pode ser executado para sua validação e verificação de erros.

Uma ferramenta do *Simul8* para a execução dos modelos são as *Trials*, onde pode ser realizado um grande número de replicações e se obter o resultado médio das mesmas. O objetivo de uma *Trial* é checar a confiabilidade dos resultados, uma vez que o *software* utiliza números randômicos e distribuições probabilísticas que podem gerar resultados diferentes a cada execução. Poderia ser traçado um paralelo com o sistema real à medida que temos dias bons e ruins de produção, por exemplo. Os resultados do relatório são mostrados então em intervalos de confiança, que podem ser de 95% ou 99% (VISUAL THINKING INTERNATIONAL LTDA.). O *software* também possui uma ferramenta chamada *Trial Calculator*, que calcula o número de replicações necessárias para que determinado indicador fique dentro da faixa do intervalo de confiança desejado.

O *software Simul8* oferece um relatório de resultados dos indicadores de desempenho do modelo que pode ser customizado. Vários parâmetros dos

diferentes elementos do sistema podem ser inseridos no relatório, o que permite uma análise estatística profunda dos resultados.

O programa *Statfit*, que faz parte do pacote do *Simul8*, é utilizado para a análise de dados de entrada e saída do simulador. Os dados obtidos por meio de coleta de dados do sistema real podem ser tratados estatisticamente com este *software*, que retorna uma série de informações das amostras como média, desvio padrão, variância. O *software* calcula qual a distribuição probabilística que mais se aproxima do conjunto de dados e retorna os seus parâmetros. Estas distribuições podem ser então utilizadas no *Simul8*, para tornar o modelo mais próximo do real.

3 METODOLOGIA

A descrição da metodologia deve contemplar todas as ferramentas e métodos utilizados para a realização do estudo científico, abrangendo qual foi a população estudada, os instrumentos utilizados e os procedimentos de análise.

3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO

O presente trabalho tem como objeto de estudo uma das máquinas de corte em folhas, denominada “cortadeira A”, de uma grande empresa no setor de papel localizada na região dos Campos Gerais, no interior do Paraná. Esta planta industrial de corte em folhas é composta por três cortadeiras e uma embaladeira, além de áreas de armazenamento de insumos. O fluxo de materiais nesta área é o seguinte: as bobinas, matéria prima principal, vêm de um depósito externo ao prédio das cortadeiras. Cada cortadeira recebe as bobinas que lhe são destinadas, de acordo com os pedidos, e também os paletes. As bobinas então são cortadas em folhas pelas cortadeiras e empilhadas sobre os paletes, formando os *skids*. Cada *skid* então é transportado por esteiras até a embaladeira, e então para a área de expedição. O fluxograma do processo é representado pela figura 3. A figura 4 mostra a planta baixa da unidade produtiva.

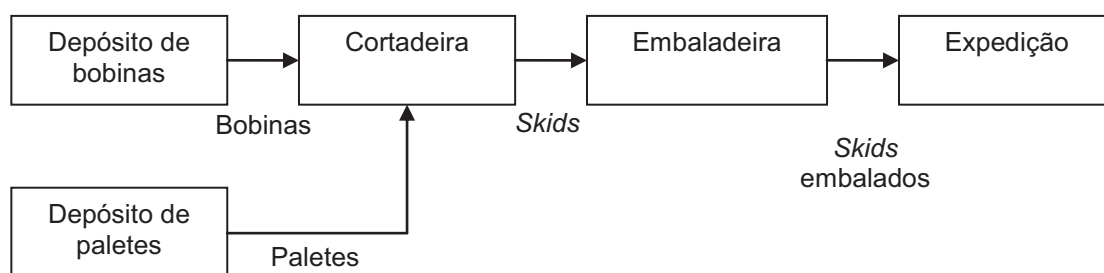


Figura 3 – Fluxograma do processo de corte em folhas
Fonte: autoria própria.

As cortadeiras analisadas têm capacidade para cortar uma bobina por vez. Os insumos utilizados nas cortadeiras, além das bobinas, são os paletes. Os paletes são transportados por empilhadeira até as cortadeiras, de um estoque dentro do prédio das cortadeiras. Nas cortadeiras, ficam armazenados em um estoque

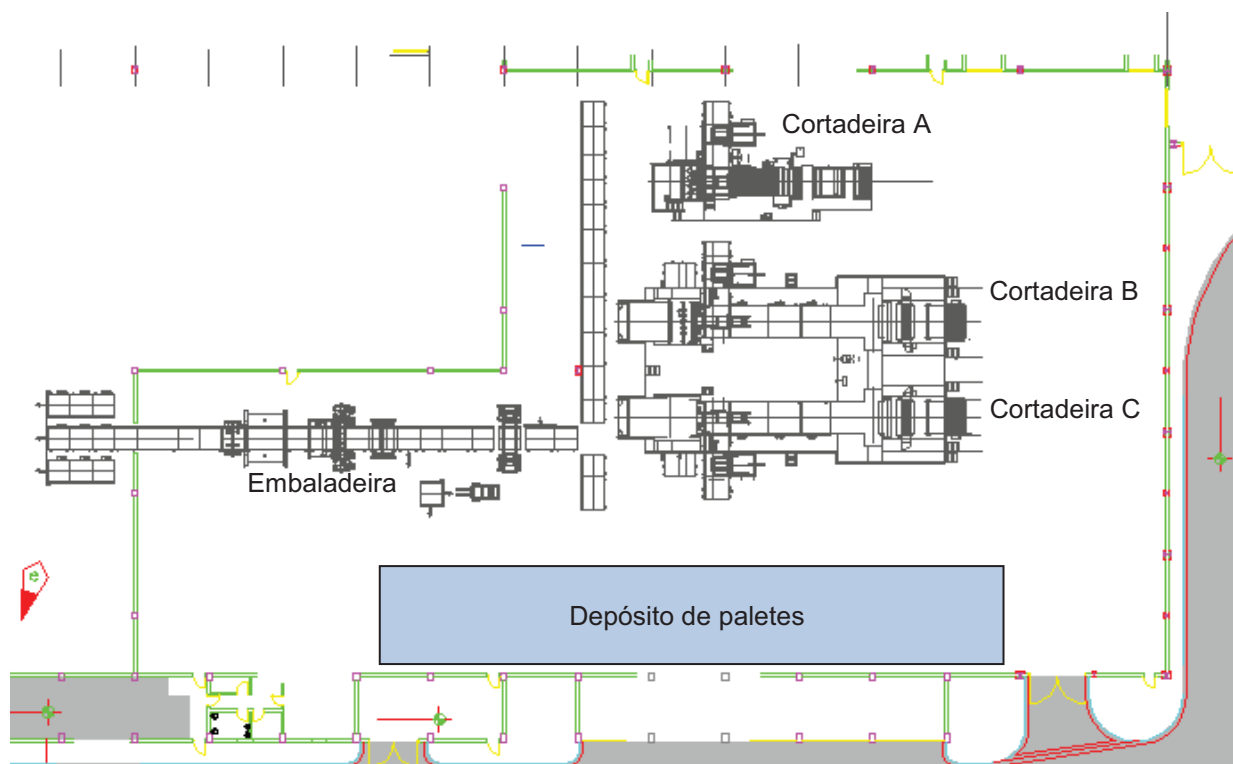


Figura 4 – Planta baixa do prédio das cortadeiras
Fonte: autoria própria.

intermediário ao lado da máquina, e daí são carregados no empilhador de paletes, que alimenta automaticamente a cortadeira. Quando os paletes do empilhador chegam a um determinado nível, um operador toma uma empilhadeira e alimenta a cortadeira.

A cortadeira em estudo é denominada “cortadeira A”, fornecida pela MarquipWardUnited. Suporta bobinas de larguras de até 1900 mm, com velocidade máxima de corte de 335 m/min. Trabalha atualmente com papel cartão de gramaturas de 185 até 390 g/m².

A planta das cortadeiras opera em regime de cinco turmas, com nove operadores próprios em cada turma. Estes operadores são distribuídos da seguinte maneira: um líder de turma (operador 3), seis funcionários operam as cortadeiras, um trabalha na embaladeira e mais um operador em atividades gerais como abastecimento de bobinas, paletes e manuseio de outros insumos. Os funcionários que trabalham nas cortadeiras são de dois níveis hierárquicos: o operador 1 e o operador 2. O operador 1 é o de menor grau hierárquico, e atua auxiliando o operador 2. O operador 2 é quem controla a cortadeira e é responsável pela

qualidade e produção da máquina. O operador 3 é responsável pela supervisão e controle de todo o processo.

3.2. O PROBLEMA DE PESQUISA

A oportunidade da pesquisa surgiu por meio de observações em campo do processo produtivo e entrevistas com funcionários. Verificou-se que em determinados momentos (férias, afastamentos, treinamentos, horários de refeição), a equipe pode não estar completa, ou seja, com menos de nove funcionários, o que exige a realocação de responsabilidades para todos os outros funcionários da área. Quando estas ausências são da grandeza de minutos, o operador 1 pode assumir a cortadeira na falta do operador 2, e vice-versa. Se este intervalo for maior, como por exemplo, dias ou semanas no caso de férias e afastamentos, normalmente o operador responsável pelas atividades gerais assume as responsabilidades de um operador 1 de uma cortadeira, e o operador 3 assume então a responsabilidade deste operador 1, sendo também auxiliado pelo operador 2. Uma destas atividades é a de alimentação de paletes na cortadeira. O operador 3 passa a realizar esta tarefa, e dependendo de sua disponibilidade, pelos operadores 1 ou 2 das cortadeiras. O quadro 1 mostra as responsabilidades por nível hierárquico de acordo com o número de operadores disponíveis. As atividades vão sendo adicionadas à lista de responsabilidades de cada operador de acordo com a redução do tamanho da equipe.

Tamanho da equipe	Operador 3	Operador 2	Operador 1 - Cortadeira	Operador 1 - Embaladeira	Operador 1 - Geral
9 operadores	Supervisão e controle do processo da planta	Operação da cortadeira	Auxiliar operador 2	Operação da embaladeira	Alimentar cortadeiras com insumos; Auxílio geral
8 operadores	Alimentar cortadeiras com insumos	Alimentar cortadeiras com insumos	Operação da cortadeira		
7 operadores	Alimentar cortadeiras com insumos	Alimentar cortadeiras com insumos	Operação da cortadeira	Operação da cortadeira; Alimentar cortadeiras com insumos	

Quadro 1 – Distribuição de responsabilidades de acordo com o quadro de pessoal

Fonte: autoria própria.

Nestas situações em que há acúmulo de funções, o sistema fica mais sujeito a perdas em desempenho e disponibilidade do que quando em situações normais. Dependendo das condições do processo (tipo do papel sendo cortado, número excessivo “embolamentos”, problemas de manutenção) pode ser necessário reduzir a velocidade da cortadeira durante a atividade de alimentação de paletes pelo fato de somente um operador não conseguir assumir todas as tarefas da máquina. Assim, o número de operadores disponíveis e o tempo despendido com a atividade de alimentação de paletes podem influenciar o desempenho da cortadeira, implicando em redução de produção, daí a motivação para o presente estudo.

Outro fator que também foi considerado é o arranjo físico da área. A cortadeira A é a mais distante do estoque de paletes, e este trajeto da cortadeira até o estoque é aquele que apresenta maior quantidade de obstáculos (filas de bobinas, tarugos, refugos), portanto é a máquina que a princípio demanda maior quantidade de tempo por viagem para abastecimento de paletes. As hipóteses iniciais então são de que o número de operadores disponíveis, as condições de processo e o arranjo físico da área influenciam no tempo necessário para a atividade de alimentação de paletes e se ocorrerá ou não redução de velocidade da cortadeira durante esta atividade, impactando no desempenho. Este estudo buscou analisar e confirmar estas hipóteses por meio de experimentos que manipularam estas variáveis. A aparente complexidade destas interações justificou o uso da ferramenta de simulação, que também apresenta a vantagem de se realizar experimentos sem a necessidade de intervenções no sistema real.

3.3. MODELO CONCEITUAL

3.3.1 Fluxograma do Processo Analisado

Detalhando o fluxograma da figura 3 obtêm-se a figura 5, que descreve o fluxo de materiais do processo de corte em folhas, incluindo a atividade de alimentação de paletes.

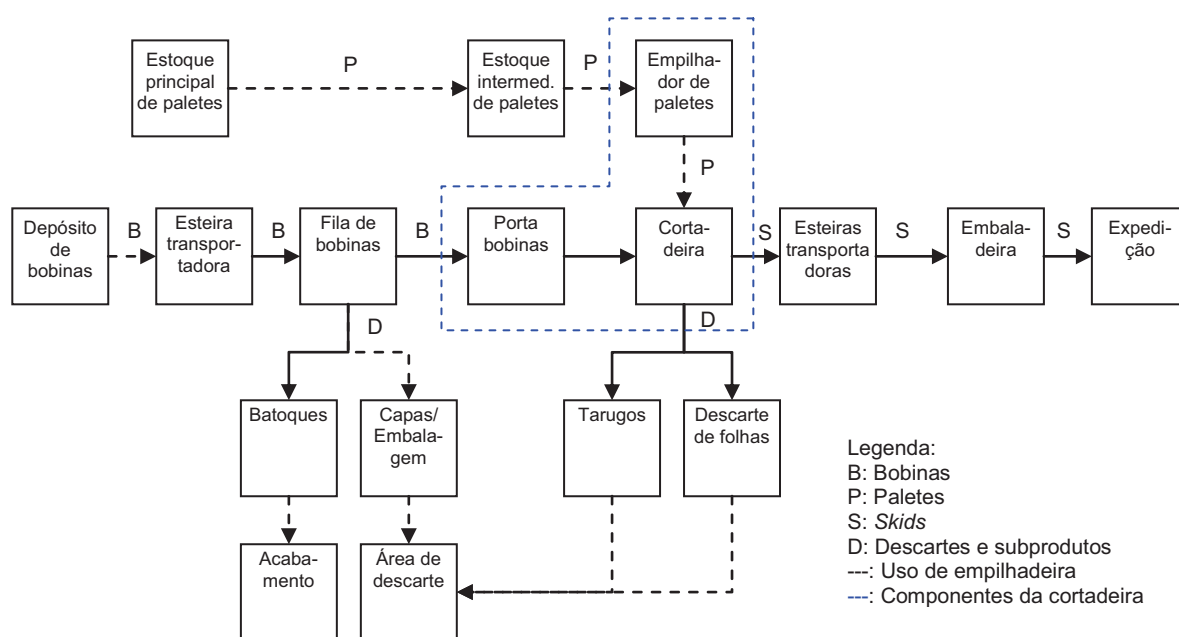


Figura 5 - Fluxograma detalhado do processo de corte em folhas.
 Fonte: autoria própria.

O fluxo de bobinas inicia-se no depósito de bobinas, onde empilhadeiras as transportam até a entrada do prédio das cortadeiras e as depositam em uma esteira transportadora. Esta esteira leva as bobinas até em frente da cortadeira, onde o operador 1 aciona um ejetor hidráulico as empurra em direção a uma fila de bobinas. As unidades que estão na fila são empurradas por meio de um carro elétrico portátil para o porta bobinas, onde se inicia o processo de corte. Os *skids* são transportados automaticamente para a embaladeira por meio de esteiras transportadoras.

Os paletes chegam ao prédio das cortadeiras por caminhão, diretamente do fabricante. São descarregadas em filas identificadas e, de acordo com os pedidos, são levadas à área de plastificação, onde é aplicada uma camada de filme de polietileno em sua superfície. São então levadas de volta ao depósito de paletes, ou diretamente para as cortadeiras, onde são depositadas em um espaço ao lado da máquina (estoque intermediário). De acordo com o consumo dos paletes na cortadeira, o operador toma a empilhadeira e alimenta o empilhador com os paletes que estão no estoque intermediário. Toda a movimentação de paletes é realizada por meio de empilhadeira.

Existem também fluxos paralelos de descartes e subprodutos, como batoques, capas, embalagens e tarugos, que acabam exigindo tempo da operação e não agregam valor, mas não serão o foco deste estudo.

3.3.2 Variáveis de Interesse

A figura 6 mostra o processo decisório de alimentação de paletes na cortadeira.

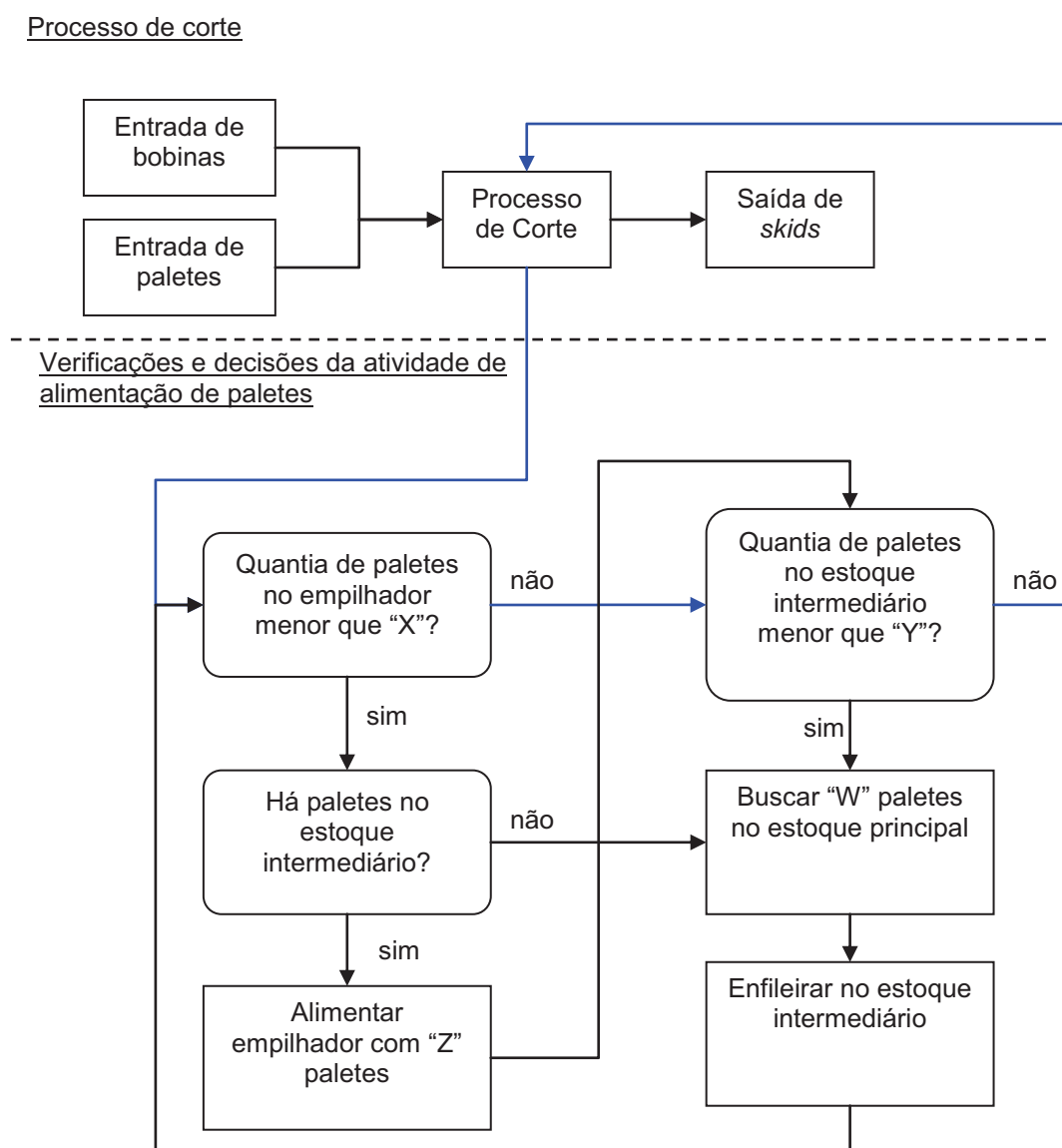


Figura 6. Verificações e decisões da atividade de alimentação de paletes.
Fonte: autoria própria.

O processo de alimentação de paletes é iniciado dependendo da quantidade de paletes no empilhador (X) e no estoque intermediário (Y). As variáveis importantes neste processo são:

- X: Nível mínimo de paletes no empilhador
- Y: Nível mínimo de paletes no estoque intermediário
- Z: Paletes abastecidos por viagem no empilhador
- W: Paletes abastecidos por viagem no depósito intermediário
- A: Tempo para alimentar o estoque intermediário
- B: Tempo para alimentar o empilhador

A quantidade de reabastecimentos de paletes depende também do consumo pela cortadeira, que por sua vez é determinado pelo tempo necessário para a produção de cada *skid*. Este tempo foi calculado pela equação 1, onde:

- tempo_corte_skid: tempo gasto pela cortadeira para o corte de um *skid*, em minutos;
- comprimento_folha: medida em milímetros do comprimento da folha do *skid*;
- número_folhas_skid: quantidade de folhas de cada *skid*;
- velocidade_cortadeira: velocidade com que a bobina é desenrolada na cortadeira, em metros por minuto;
- número_saídas: quantidade de *skids* cortados simultaneamente pela cortadeira

$$tempo_corte_skid = \frac{\left(\frac{comprimento_folha \times número_folhas_skid}{velocidade_cortadeira \times 1000} \right)}{número_saídas}$$

Equação 1 – Cálculo do tempo teórico de processamento de um skid
Fonte: autoria própria.

Outra variável de interesse é a taxa de disponibilidade da cortadeira, ou seja, o tempo médio de parada da máquina por quebras e falhas durante o mês, que também foi considerada no modelo computacional.

3.4. COLETA DE DADOS

Foi coletado no sistema de registro de produção da planta o total de *skids* produzidos no mês de outubro de 2012, assim como o tempo de produção cada ordem de produção, que variava de acordo com o formato, número de folhas e gramatura (gramas por metro quadrado de papel). Dividindo-se o tempo pelo total de unidades produzidas por ordem de produção obteve-se tempo real de corte por *skid*.

O fabricante da cortadeira fornece uma tabela com as velocidades da máquina de acordo com o comprimento de folha, o que permitiu, juntamente com as características do papel obtidos no sistema de registro de produção, o cálculo do tempo teórico de processamento de um *skid* pela equação 1.

Por meio de observações, verificou-se que no término de produção de cada *skid* há um processo sequencial automático de desaceleração, parada da cortadeira para expulsar o *skid* pronto e abastecimento automático do palete e aceleração. Estes tempos foram cronometrados e foi verificado que a aceleração e desaceleração incrementam em aproximadamente 5% o tempo de produção de um *skid*, e o tempo de troca do *skid* varia de 45 segundos a 1 minuto. Esta porcentagem foi considerada nos tempos teóricos de produção do *skid*, e o tempo de troca de *skid* foi incluído no modelo computacional como uma distribuição uniforme com mínimo de 0,75 minutos e máximo de 1 minuto. Também foi considerada uma redução de 25% de velocidade da cortadeira em casos de ausência do operador 2, em situações que gerem dificuldades de operação da cortadeira, como já mencionado (embolamentos, paradas, etc.).

A fábrica utiliza a metodologia *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*) para apontamento de paradas das plantas, com um *software* customizado para este apontamento, que foi a fonte de dados para se calcular a disponibilidade da cortadeira no período analisado. Consideraram-se todas as paradas por quebras e falhas operacionais no período de outubro de 2012 para se obter este índice, excluindo-se os tempos de falta de material, operador e ajustes (pois as simulações seriam por corridas, o que exclui os tempos de trocas de formato). Foram calculados todos os tempos de paradas (*medium time to repair - MTTR*) e os intervalos entre as paradas (*medium time between failures - MTBF*), e estas informações foram inseridas no *software Staffit*, que retornou as distribuições adequadas para estes

dois parâmetros, como se pode observar nas figuras 7 e 8. Ambos foram incluídos no modelo computacional no centro de trabalho “cortadeira”.

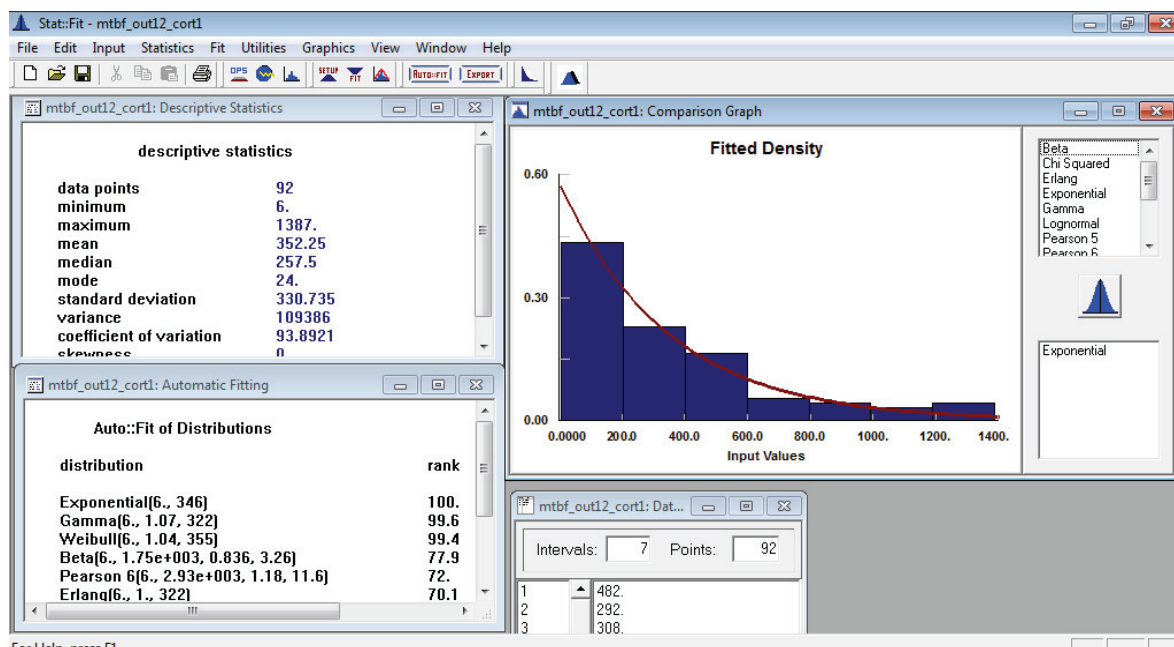


Figura 7 - Cálculo da distribuição estatística do índice *MTBF* da cortadeira por meio do software *Statfit*
Fonte: autoria própria.

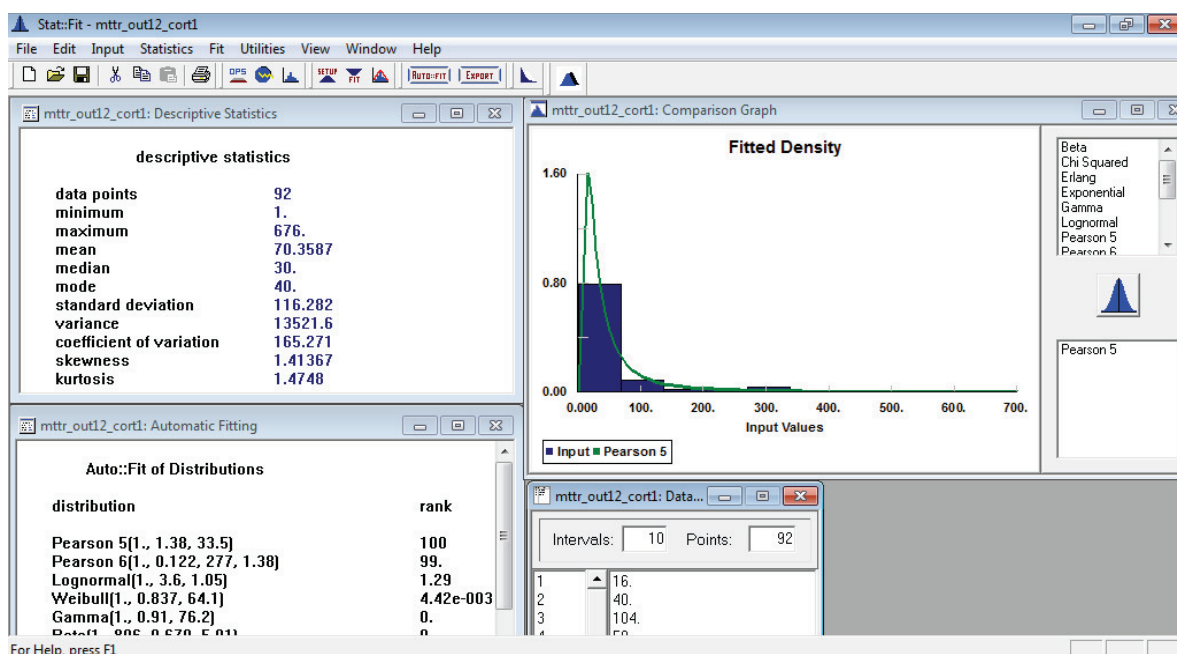


Figura 8 - Cálculo da distribuição estatística do índice *MTTR* da cortadeira por meio do software *Statfit*
Fonte: autoria própria.

A OEE também forneceu a porcentagem do total de *skids* refugados no mês de outubro pela cortadeira em estudo, que foi de 0,50%. Este valor foi inserido na simulação computacional de maneira a ser descontado da produção total.

Foi elaborada uma planilha para coleta de dados referentes à atividade de alimentação de paletes, e solicitado ao operador responsável pelo manuseio dos insumos que a preenchesse com as informações requeridas quando realizasse a atividade de transporte de paletes do depósito até o estoque intermediário, e do estoque intermediário ao empilhador. Esta planilha está no anexo A, e os dados coletados no anexo B. Verificou-se que o tempo médio para abastecimento de cada viagem do depósito de paletes até o estoque intermediário é de aproximadamente 11 minutos, e do estoque intermediário até o empilhador, de aproximadamente 2,5 minutos (aproximado para facilitar os cálculos). Não foram elaboradas distribuições probabilísticas para estes dados, pois o parâmetro *travel time* do *Simul8*, onde estes valores foram inseridos, não aceita a inserção de distribuições, apenas de valores exatos.

Por meio de entrevistas com os operadores da área e dados coletados por meio da planilha do anexo A assumiu-se neste modelo os valores da tabela 1 para as quantidades mínimas de paletes nos estoques e quantidades de paletes transportados por viagem, que determinam quando será necessário realizar o abastecimento.

Tabela 1 – Parâmetros de tamanhos de filas de paletes e quantidades abastecidas por viagem

Parâmetro	Quantidade
Nível mínimo de paletes no empilhador	5
Nível mínimo de paletes no estoque intermediário	20
Paletes abastecidos por viagem no empilhador	5
Quantidade de paletes abastecidos por viagem no estoque intermediário	Distribuição Triangular (11;13;15)

Fonte: autoria própria.

Para os recursos “operador 3” e “operador 1_auxiliar geral” foi considerada uma disponibilidade de 33,33%, visto que estes dois operadores são compartilhados também pelas outras duas cortadeiras da área. A disponibilidade do recurso “operador 2” foi calculada levando-se em conta que o mesmo faz dois intervalos

durante o dia: para a refeição e para o banho. Por meio de observações e entrevistas, verificou-se que o tempo entre estas paradas (*MTBF* operador) varia de 180 a 220 minutos, e sua duração (*MTTR* operador) varia de 10 a 40 minutos cada uma. Foram criadas distribuições estatísticas uniformes para estes intervalos e inseridos na disponibilidade do operador 2 no modelo computacional.

A tabela 2 mostra todas as distribuições utilizadas no modelo computacional elaborado.

Tabela 2 – Distribuições probabilísticas utilizadas no modelo computacional da cortadeira A

Distribuição	Tipo	Parâmetros
<i>MTTR</i> Cortadeira A	<i>Pearson V</i>	<i>Alpha 1.38, Beta 33.5</i>
<i>MTBF</i> Cortadeira A	<i>Exponential</i>	<i>Average 346</i>
Tempo de troca <i>Skid</i>	<i>Uniform</i>	<i>Lower bound 0.75, Upper bound 1.00</i>
<i>MTBF</i> operador	<i>Uniform</i>	<i>Lower bound 180, Upper bound 220</i>
<i>MTTR</i> operador	<i>Uniform</i>	<i>Lower bound 10, Upper bound 40</i>
Quantidade de paletes por viagem do depósito ao estoque intermediário	<i>Triangular</i>	<i>Lower bound 11, Mode 13, Upper bound 15</i>

Fonte: autoria própria.

3.5. MODELAGEM COMPUTACIONAL

O modelo computacional foi elaborado utilizando o software *Simul8*, versão educacional, da *Simul8 Corporation*. A figura 9 traz a imagem do modelo elaborado.

O modelo pode ser dividido em quatro seções, para melhor entendimento: cortadeira, alimentação de bobinas, transporte de paletes até estoque intermediário e transporte de paletes do estoque intermediário para a cortadeira.

A cortadeira é representada por um *workcenter* com uma fila para recebimento de paletes, uma para descarte de tarugos e duas para bobinas, uma delas de capacidade para duas unidades representando o porta bobinas. O seu tempo de processamento é fixo, visto que no sistema real a velocidade de corte não muda de um *skid* para outro salvo problemas de produção. Toda sua produção vai para outro *workcenter* de tempo de processamento zero que envia 99,5% da produção para uma saída e 0,5% para outra, representando os *skids* refugados.

Foram inseridas no centro de trabalho da cortadeira as distribuições de *MTTR* e *MTBF* da tabela 2 com a finalidade de simular as quebras e paradas de máquina. Para cada bobina recebida a cortadeira também envia um tarugo para a gaiola de tarugos, que quando alcança o nível de 60 unidades deve ser retirada para um *work exit point* específico.

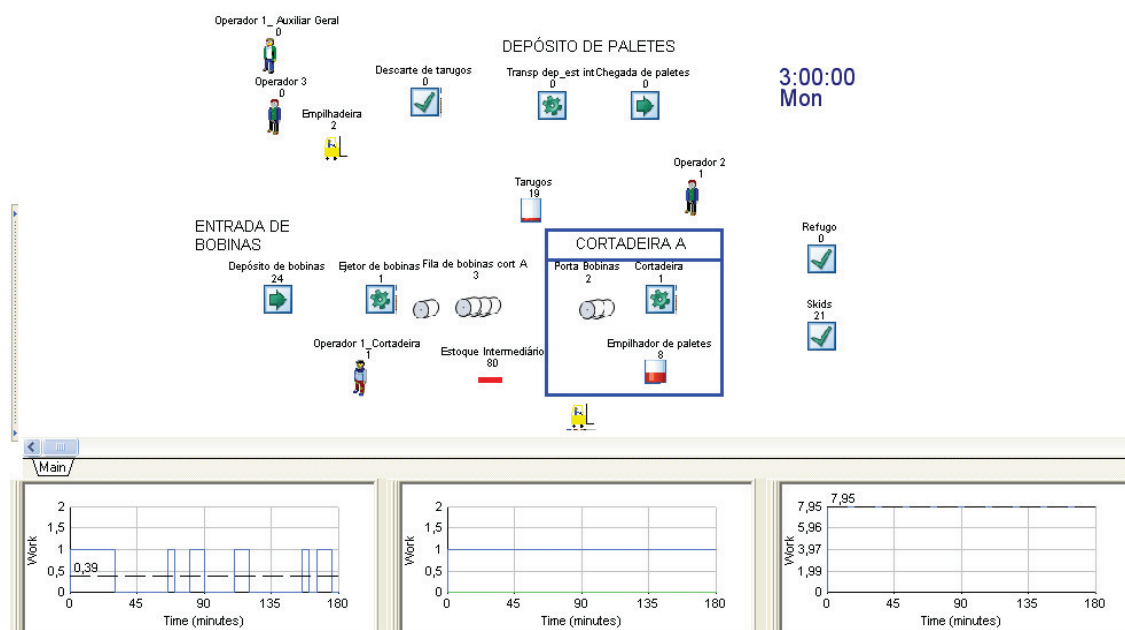


Figura 9 – Imagem do modelo computacional elaborado com o software *Simul8* para o presente estudo
Fonte: autoria própria.

A entrada de bobinas é um sistema com um *Work Entry point* com *unlimited arrivals* e uma regra em *Visual Logic* que bloqueia o fluxo de chegada de bobinas assim que a fila para a cortadeira passa de três bobinas. Estes insumos são enviados para a fila de bobinas da cortadeira.

O sistema de transporte de paletes do depósito para o estoque intermediário funciona de maneira semelhante ao de entrada de bobinas. Uma entrada de paletes envia material para um *work center* e deste os paletes vão para o estoque ao lado da cortadeira. Há também aqui uma regra em *Visual Logic* que interrompe o fluxo de material caso o estoque intermediário seja maior que 20 unidades.

O estoque intermediário é composto por uma fila de capacidade para 100 unidades e um *workcenter* que controla o envio de paletes para o empilhador. Da mesma maneira que para o depósito de paletes e para as bobinas, há uma regra em *Visual Logic* que bloqueia o fluxo de paletes da fila que representa o estoque

intermediário para o *workcenter* quando o empilhador possuir mais que cinco paletes. Este centro de trabalho funciona enviando lotes de cinco unidades para o empilhador.

Os recursos inseridos neste modelo foram os operadores 1 e 2 das cortadeiras, operador 3 e operador 1 de auxílio geral, 1 de cada, além de duas empilhadeiras. Foi criado um *pool* de recursos com o operador 1 de auxílio geral, operador 3 e operador 2, nesta ordem de prioridade, para as atividades de transporte com empilhadeira. Foram atribuídas a estes recursos suas disponibilidades conforme já comentado. Todas as atividades de transporte requerem este *pool* de recursos e uma empilhadeira.

Foi criada uma regra com *Visual Logic* para que todas as vezes que o operador 2 for acionado, deverá ocorrer uma redução de velocidade da cortadeira de 25% durante o tempo que o mesmo estiver executando esta tarefa. Por isto, este recurso não foi atribuído à cortadeira a fim de que esta regra pudesse ser executada. Isto simula uma situação de dificuldades de produção em que o operador 2 precisa sair da cortadeira para buscar paletes e então precisa reduzir a velocidade para garantir o bom andamento da máquina.

Também para as atividades de transporte de paletes foi configurado no *routing out* os *travel times* de maneira a simular o tempo de transporte dos paletes entre as unidades do modelo.

3.6 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Para a validação do modelo, foi feita uma comparação entre os dados da produção real com os dados de produção obtidas por meio do simulador.

Inicialmente, tomou-se a planilha com as informações obtidas do sistema de registro de produção e calculou-se o tempo de produção real por *skid*, por ordem de produção. Para estas mesmas ordens, utilizando a equação 1, foi calculado o tempo de produção teórico. Estes tempos teóricos foram multiplicados por 1,05 para acrescentar os 5% do tempo de aceleração e desaceleração da máquina. Também foi calculado o acréscimo de 25% sobre este tempo teórico em caso de ausência do operador 2. Foram então selecionadas as ordens de produção de apenas uma saída, a fim de facilitar a programação do modelo computacional, o que também não

prejudica a análise do problema, pois representam 55% do total de ordens de produção do mês de outubro, somando 32,6% do total de unidades produzidas.

Assim, tendo em mãos os tempos de produção por *skid* teórico e real, foi calculada a diferença entre os dois e selecionadas as corridas que apresentaram uma diferença de até 3 minutos entre estes dois tempos. Isto foi necessário para segregar as corridas que apresentaram muitos distúrbios (como por exemplo, paradas programadas de 8 horas para manutenção) que comprometeriam a validação do modelo. Os valores de tempo teórico por *skid* e duração da corrida de cada uma destas ordens foram inseridos no modelo computacional e então por meio da ferramenta *Trial Calculator* foi possível obter o número de simulações necessárias a fim de que os resultados da simulação estivessem em um intervalo de confiança de 95%. Foram registrados o valor médio de *skids* produzidos e o calculado seu desvio padrão amostral.

Calculou-se na sequência a diferença porcentual entre a produção simulada e a real. Utilizando o software *Statdisk*, foi também realizado um teste de hipóteses para verificar se estatisticamente os resultados do modelo eram iguais ao da produção real. Foi considerada como hipótese nula (H0) a igualdade “*skids* produzidos pela simulação = *skids* produzidos pelo sistema real”, e utilizado como o tamanho da amostra o número de corridas simuladas, além do valor médio de *skids* produzidos pelo modelo e seu desvio padrão. Todos estes valores foram inseridos no *Statdisk* com uma significância de 0,05. Os valores utilizados e resultados do processo e validação encontram-se nas tabelas 3, 4 e 5.

Tabela 3 - Informações inseridas no modelo computacional para validação do modelo (continua)

Ordem de produção	Tempo médio por <i>skid</i> - sistema real	Tempo médio por <i>skid</i> teórico mais taxa de aceleração (5%)	Tempo médio por <i>skid</i> mais redução de velocidade (25%)	Duração da corrida
	min	min	min	min
5900/1	11,37	7,98	9,98	749
5899/1	11,05	7,88	9,85	1218
5812/1	12,67	10,02	12,52	64
5838/1	14,10	10,96	13,70	381
5901/1	10,42	7,95	9,93	180
5867/1	12,00	9,50	11,87	214
5848/1	12,55	9,05	11,32	214

Tabela 3 - Informações inseridas no modelo computacional para validação do modelo (conclusão)

Ordem de produção	Tempo médio por skid - sistema real	Tempo médio por skid teórico mais taxa de aceleração (5%)	Tempo médio por skid mais redução de velocidade (25%)	Duração da corrida
	min	min	min	min
5876/1	7,49	5,78	7,23	290
5887/1	7,27	6,25	7,81	839
5815/1	18,00	14,96	18,70	79
5882/1	8,73	7,42	9,27	86
5878/1	10,79	8,97	11,21	281

Fonte: autoria própria.

Tabela 4 - Resultados da simulação para validação do modelo computacional

Ordem de produção	Produção Real	Produção simulada	Diferença produção real - simulada	Número de simulações	desvio padrão amostra
	unidades	unidades	%	corridas	
5900/1	67	74	-10%	68	15,30
5899/1	113	118	-4%	61	23,28
5812/1	5	5	0%	270	2,14
5838/1	28	27	3%	96	6,82
5901/1	18	18	3%	96	4,44
5867/1	19	18	7%	102	4,51
5848/1	19	18	7%	104	4,54
5876/1	40	37	8%	84	8,64
5887/1	115	102	11%	64	20,63
5815/1	5	4	12%	254	1,79
5882/1	10	9	13%	197	3,10
5878/1	28	24	14%	98	6,00

Fonte: autoria própria.

Tabela 5 - Resultados dos testes de hipóteses para validação do modelo computacional

Ordem de produção	p value	Resultado	Intervalo de confiança		
5900/1	0,0006	Rejeita-se H0	70,00	μ	77,40
5899/1	0,1800	Não se rejeita H0	112,04	μ	123,96
5812/1	0,3577	Não se rejeita H0	4,86	μ	5,38
5838/1	0,2533	Não se rejeita H0	25,82	μ	28,58
5901/1	0,2633	Não se rejeita H0	16,61	μ	18,39
5867/1	0,0022	Rejeita-se H0	16,31	μ	18,89
5848/1	0,0000	Rejeita-se H0	16,72	μ	18,48
5876/1	0,0033	Rejeita-se H0	35,28	μ	39,02
5887/1	0,0000	Rejeita-se H0	96,55	μ	106,85
5815/1	0,0000	Rejeita-se H0	4,19	μ	4,63
5882/1	0,0000	Rejeita-se H0	8,26	μ	9,14
5878/1	0,0000	Rejeita-se H0	22,81	μ	25,21

Fonte: autoria própria.

Pelos resultados do teste de hipóteses, para as ordens de produção 5899/1, 5812/1, 5838/1 e 5901/1 não foi possível rejeitar a hipótese nula, ou seja, não se pode afirmar que a produção real é diferente da simulada com um grau de significância de 5%.

Mesmo que o teste de hipóteses não tenha falhado em rejeitar a hipótese nula para todas as 12 corridas testadas, podemos afirmar que o modelo representa com fidelidade significativa o sistema real pela diferença percentual entre a produção real e a simulada. Autores como Silva, Alves e Costa (2011) afirmam que diferenças de até 5% entre os resultados do simulador e o do sistema real são consideradas adequadas. Para as corridas testadas esta diferença foi em média 5%, desta maneira pode-se considerá-lo validado pelo mesmo critério. Também se observa que o valor real está próximo do intervalo de confiança obtido pelo software *Statdisk*, o que contribui para a validação do modelo.

3.7. PLANEJAMENTO DOS EXPERIMENTOS

O objetivo do presente estudo é verificar a influência de parâmetros chave como número de operadores disponíveis e tempo de transporte de paletes sobre a

produtividade da cortadeira A, portanto os experimentos manipularam estas duas variáveis para as quatro corridas validadas pelo teste de hipóteses.

Foi simulada a redução do quadro de operadores de 9 para 8 e 7 operadores, o que pode ocorrer em situações reais de férias, afastamentos e ausências não planejadas. O tempo de transporte de paletes do depósito para o estoque intermediário e do estoque intermediário para o empilhador da cortadeira será simulado primeiramente para as médias coletadas em campo (11 minutos e 2,5 minutos, respectivamente), e então sofrerá uma variação de 50% para mais e para menos. O aumento de tempo na execução destas tarefas ocorre em situações em que há excesso de obstáculos no caminho, como bobinas, tarugos, refugos, quando os paletes não são encontrados ou não estão plastificados, ou ainda outros motivos. A redução deste tempo seria resultante de melhorias no arranjo físico da área, como reduzir a distância do depósito de paletes até o depósito intermediário, por meio de outro depósito mais próximo da cortadeira em estudo, ou aumento da área do prédio das cortadeiras, evitando problemas de excesso de obstáculos no trajeto até o depósito como já mencionado.

Foi considerado que em todas as corridas ocorreu a redução de velocidade da cortadeira na ausência do operador 2 a fim de analisar a influência desta ausência na produtividade da cortadeira.

O quadro 2 resume os cenários a serem testados.

Tempo de transporte do depósito de paletes para estoque intermediário/ Tempo de transporte do estoque intermediário para empilhador	11/2,5	16,5/3,5	5,5/1
Número de operadores disponíveis	Ordens de produção utilizadas no experimento		
9	5899/1	5899/1	5899/1
	5812/1	5812/1	5812/1
	5838/1	5838/1	5838/1
	5901/1	5901/1	5901/1
	Teste	Teste	Teste
8	5899/1	5899/1	5899/1
	5812/1	5812/1	5812/1
	5838/1	5838/1	5838/1
	5901/1	5901/1	5901/1
	Teste	Teste	Teste
7	5899/1	5899/1	5899/1
	5812/1	5812/1	5812/1
	5838/1	5838/1	5838/1
	5901/1	5901/1	5901/1
	Teste	Teste	Teste

Quadro 2 – Planejamento dos experimentos

Fonte: autoria própria.

No total, são 9 combinações diferentes para cada uma das 5 ordens de produção testadas, resultado em 45 experimentos diferentes. Em uma destas ordens testadas, denominada “produção teste”, foi realizado um experimento com a corrida 5899/1, extrapolando seu tempo de simulação para uma semana (10080 minutos), a fim de analisar com maior precisão os indicadores de ocupação dos operadores, tempo médio do *skid* no sistema e tamanho médio das filas de paletes. Isto foi necessário porque o processo de validação considerou apenas o indicador de *skids* produzidos, sendo então necessária esta extrapolação para se ter certeza da quantia de tempo necessária para se analisar os outros indicadores com confiabilidade. Para cada combinação de número de operadores e tempos de transporte foram executadas 42 simulações, conforme resultado da ferramenta *Trial Calculator* do *Simul8*.

Dividiremos a apresentação dos resultados em “ordens de produção do processo de validação” e “ordem de produção teste”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ORDENS DE PRODUÇÃO DO PROCESSO DE VALIDAÇÃO

O gráfico 1 mostra os resultados da diferença percentual de unidades produzidas de cada combinação do quadro 2 em relação à corrida padrão, que utilizou 9 operadores, tempo de transporte de paletes do depósito para estoque intermediário de 11 minutos e do estoque intermediário para o empilhador de 2,5 minutos. Foram calculadas as médias das diferenças percentuais das quatro corridas, que representa cada coluna no gráfico.

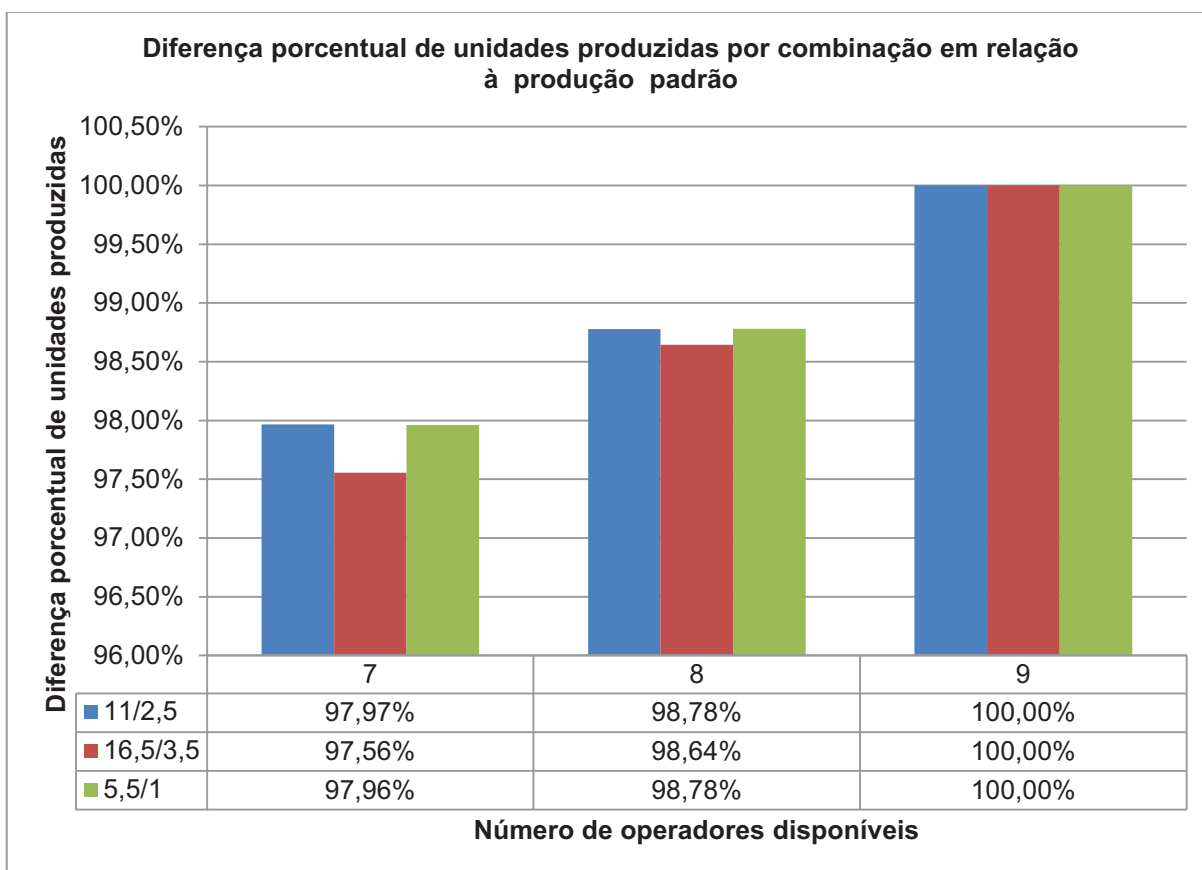


Gráfico 1 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado
Fonte: Autoria própria.

Verificou-se uma redução de unidades produzidas de até 2,5% no pior cenário, ou seja, dois operadores a menos e aumento do tempo de transporte de paletes em 50%. Observa-se que esta redução de produção foi gradual de acordo

com a redução do número de operadores, com uma redução média de 1,27% para os cenários com 8 operadores e de 2,17% nos experimentos com 7 operadores.

Verifica-se também a influência dos tempos de transporte de paletes neste gráfico. No primeiro cenário, com 9 operadores, não foi verificada nenhuma diferença porcentual de unidades produzidas com a variação deste parâmetro. Reduzindo o número de operadores para 8, verificou-se que com um aumento de 50% no tempo de transporte a diferença de unidades produzidas mudou de 98,78% para 98,64% em relação ao padrão. Nos cenários com 7 operadores, esta diferença foi ainda maior, de 97,97% para 97,57%. Os resultados não mostraram diferenças significativas no indicador de unidades produzidas quando ocorre a redução no tempo desta atividade, independente do número de operadores disponíveis.

Foi realizada a análise da influência do tempo de transporte de paletes isoladamente, e é mostrada no gráfico 2.

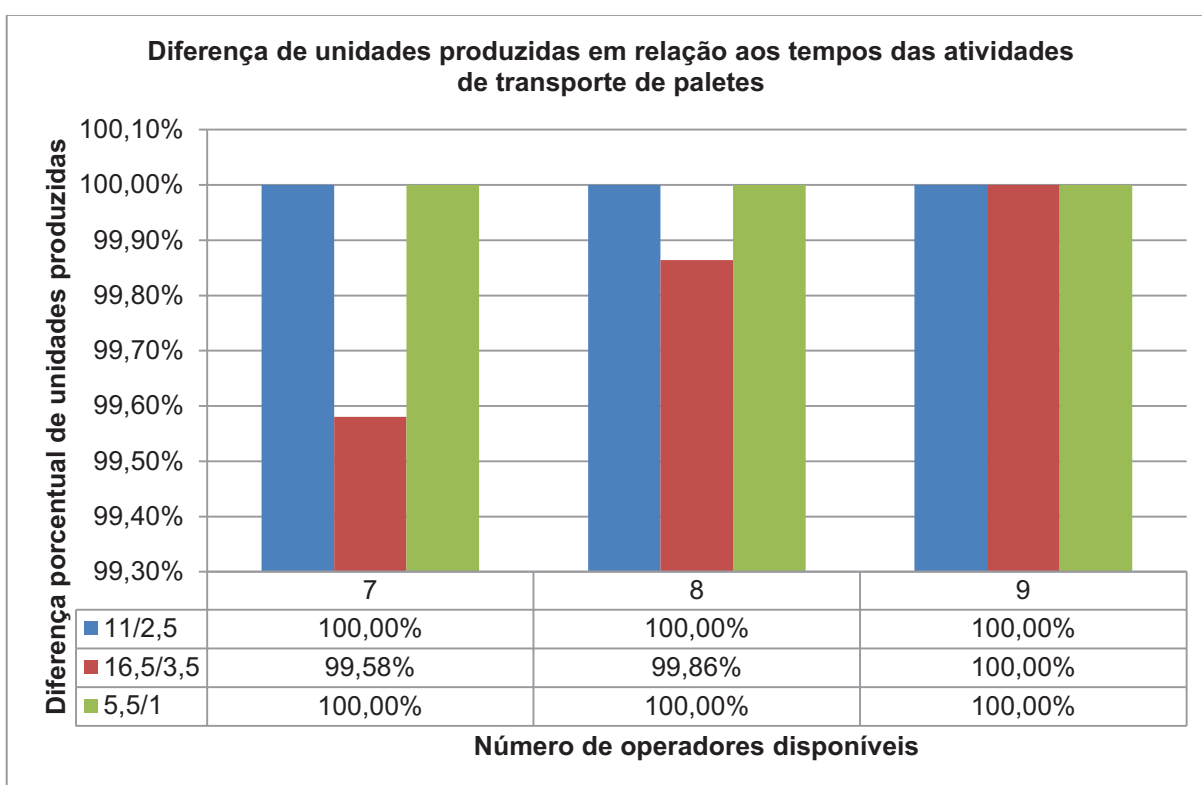


Gráfico 2 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado, analisando somente a influência da variável “tempo de transporte de paletes”
 Fonte: Autoria própria.

Confirma-se a influência do tempo de transporte de paletes quando ocorre o aumento no tempo desta atividade. Quando se reduz este tempo, não se verifica alterações no indicador de produção.

4.2 ORDEM DE PRODUÇÃO TESTE

O gráfico 3 mostra os resultados da diferença percentual de unidades produzidas de cada combinação da produção teste em relação à corrida padrão, que utilizou 9 operadores, tempo de transporte de paletes do depósito para estoque intermediário de 11 minutos e do estoque intermediário para o empilhador de 2,5 minutos. Este gráfico é análogo ao gráfico 1, para os dados da corrida teste.

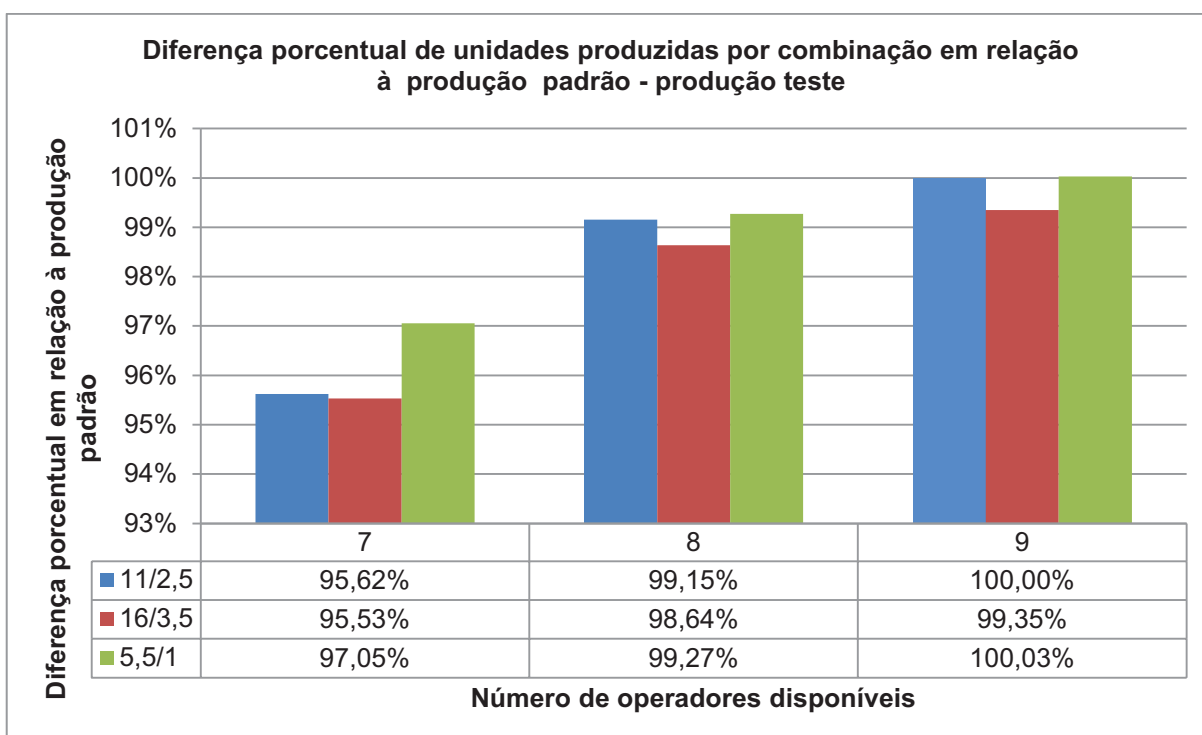


Gráfico 3 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado para a produção padrão
Fonte: Autoria própria.

Com a extrapolação do tempo de produção, pôde-se perceber uma maior influência das variáveis manipuladas sobre os resultados de unidades produzidas do que nas corridas do processo de validação. A diferença entre o cenário que mais prejudicaria a produção (7 operadores com aumento do tempo de transporte) para a produção padrão foi 4,47%, maior que os 2,5% dos experimentos com as corridas do processo de validação. Também se verificou que a redução do tempo de transporte impactou positivamente na produção em até 1,43% (cenário com 7 operadores). Em todos os cenários, o aumento do tempo de transporte causou uma redução no número de unidades produzidas, com uma influência menor que a redução dos tempos de transporte. Também é nítida a influência da redução do

número de operadores na produtividade da cortadeira, como se pode ver com mais detalhe no gráfico 4.

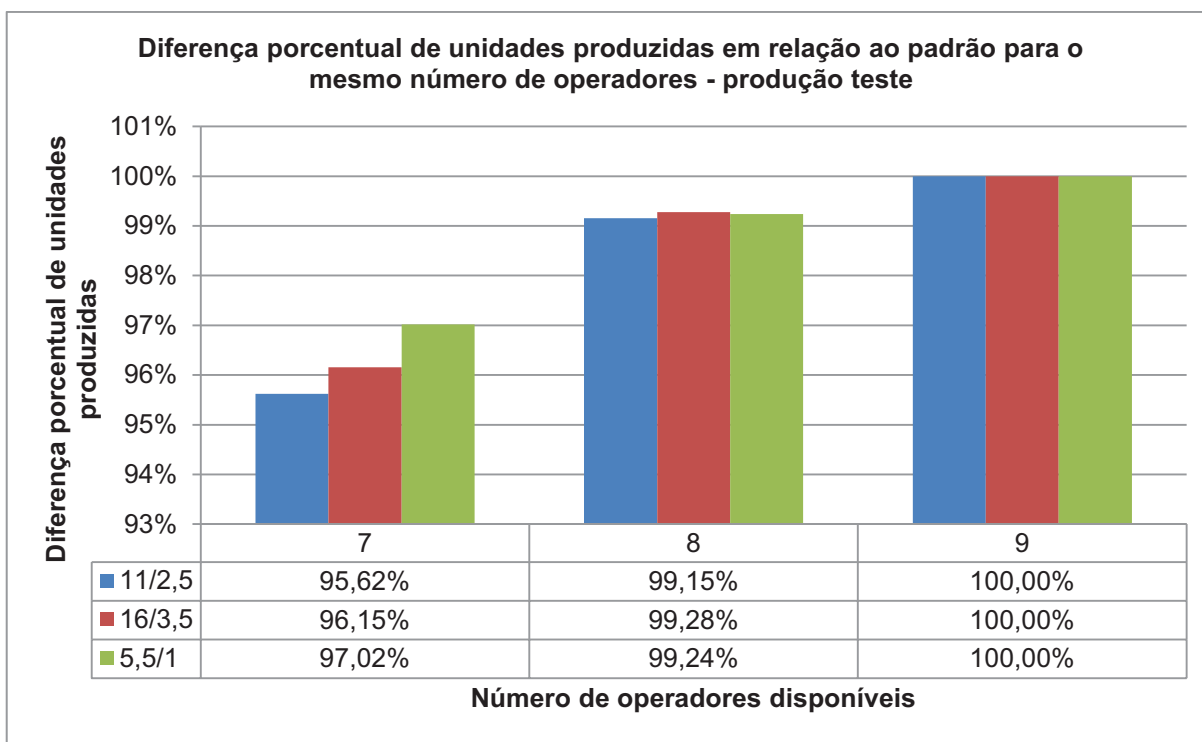


Gráfico 4 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado para a produção padrão, considerando apenas a influência do número de operadores
 Fonte: Autoria própria.

No gráfico 4, foi calculada a diferença percentual de unidades produzidas entre os cenários que possuíam os mesmos tempos de transporte, variando o número de operadores, para verificar a influência desta última variável isoladamente. Assim, para os cenários com 9 operadores não houve diferença, sendo então as porcentagens resultantes de 100%.

O gráfico 5 faz a mesma análise que o gráfico 4, porém analisando a influência dos tempos de transporte isoladamente. Isso foi feito dividindo-se a produção dos experimentos com maior e menor tempos de transporte pela produção do experimento com tempo de transporte padrão (11 e 2,5 minutos) que utilizaram o mesmo número de operadores.

Comparando os gráficos 4 e 5, observa-se que para o cenário de 7 operadores, ocorreu uma redução percentual média de 3,73% da produção (gráfico 4), e com o aumento do tempo de transporte para 16/5.5 minutos a redução de produção foi em média 0,42% (gráfico 5).

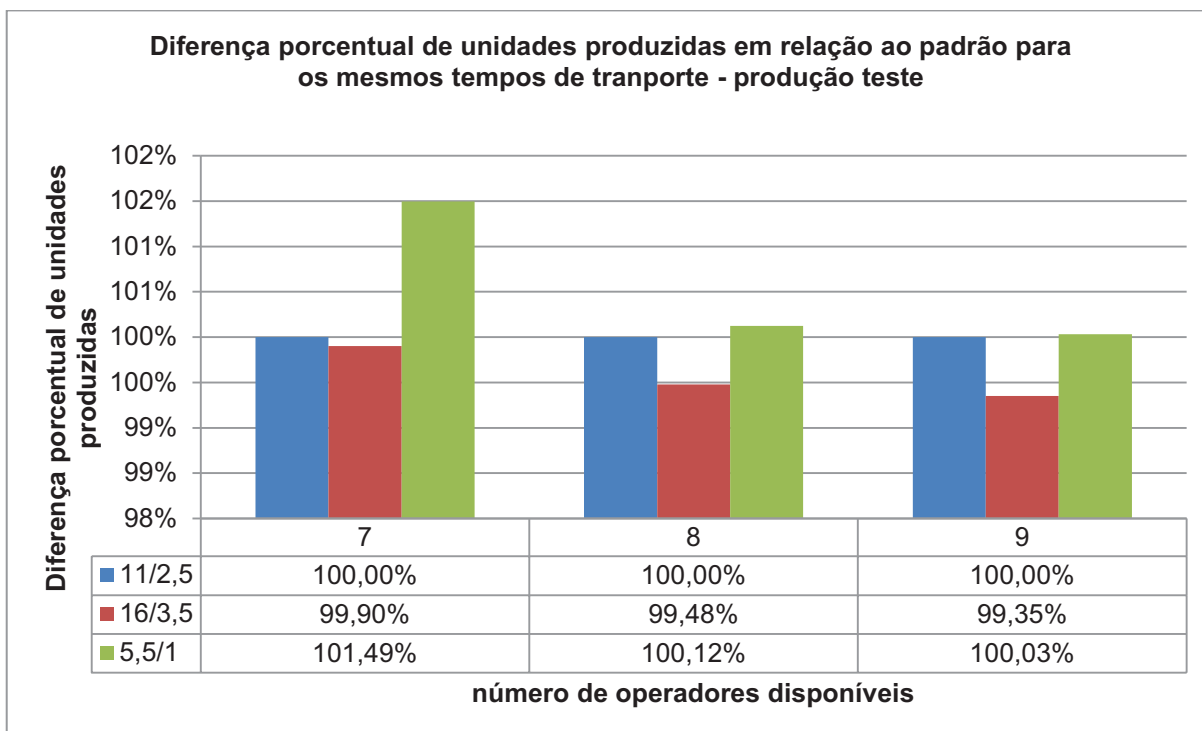


Gráfico 5 - Diferença de unidades produzidas por cenário testado para a produção padrão, considerando apenas a influência dos tempos de transporte
 Fonte: Autoria própria.

A análise da influência destes parâmetros isoladamente permite concluir que há uma sensibilidade maior do sistema à falta de operadores do que em relação aos tempos de transporte, ou seja, o primeiro influencia mais a produtividade da cortadeira do que o segundo. Isso é condizente com a realidade, visto que com um quadro completo de operadores ocorrerão menos situações em que há necessidade do operador 2 sair da cortadeira do que com o quadro reduzido. Assim, se o tempo de transporte de paletes é maior ou menor a produção não será afetada, pois será o operador 3 ou 1 de serviços gerais que estará realizando esta atividade. É no momento em que há a coincidência destes dois operadores estarem ausentes que estes tempos de transporte afetam a produção, pois então é o operador 2 que se ausenta para as atividades de transporte de paletes. Os dados dos gráficos 4 e 5 ilustram esta diferença de sensibilidade: as variações do número de operadores chegam a causar uma diferença média de 3,73% para o pior cenário (7 operadores), enquanto que a redução porcentual média para os tempos de transporte reduzidos, mantendo-se o mesmo número de operadores, foi de 0,42%.

A redução dos tempos de transporte contribuiu para amenizar a falta de operadores, mas com os valores simulados neste experimento não chegaram a compensar totalmente a falta destes. Para a corrida teste, com o tempo reduzido de

transporte de paletes, para 8 operadores a diferença porcentual foi de 99,27%, enquanto que com o tempo padrão de transporte de paletes esta diferença foi de 99,17%. Com 7 operadores, a diferença foi maior: a redução dos tempos de transporte a diferença para a corrida padrão, com 9 operadores e 11/2,5 minutos de tempos de transporte, foi de 97,05%, enquanto que com este mesmo número de operadores e os tempos padrão de transporte de paletes a diferença foi de 95,62%, uma diferença de 1,42%. Isso quer dizer que a redução de tempos de transporte auxilia a evitar maiores perdas em situações de quadro reduzido, mas não a eliminá-las. O aumento do tempo de transporte também contribuiu para a redução da produção. Comparando com a produção padrão, aumentando-se o tempo de transporte a produção reduziu 0,65%; reduzindo-se o número de operadores para 8, redução foi de 1,36%, e para 7, o pior cenário em termos de produtividade, 4,47%.

Os valores de tempo médio de permanência dos *skids* no sistema estão no gráfico 6. O tempo de permanência é um indicador que mostra a velocidade com que os materiais entram no sistema, são processados e enviados ao seu destino. Os tempos de transporte mostraram-se diretamente proporcionais a este indicador, o que era esperado, pois um maior tempo de transporte em situações de falta de operadores gerou reduções de velocidade da cortadeira, o que aumenta o tempo de permanência do *skid* no processo. Já o número de operadores é inversamente proporcional a este indicador, pois se reduzindo o seu número ocorre com maior frequência a redução de velocidade da cortadeira.

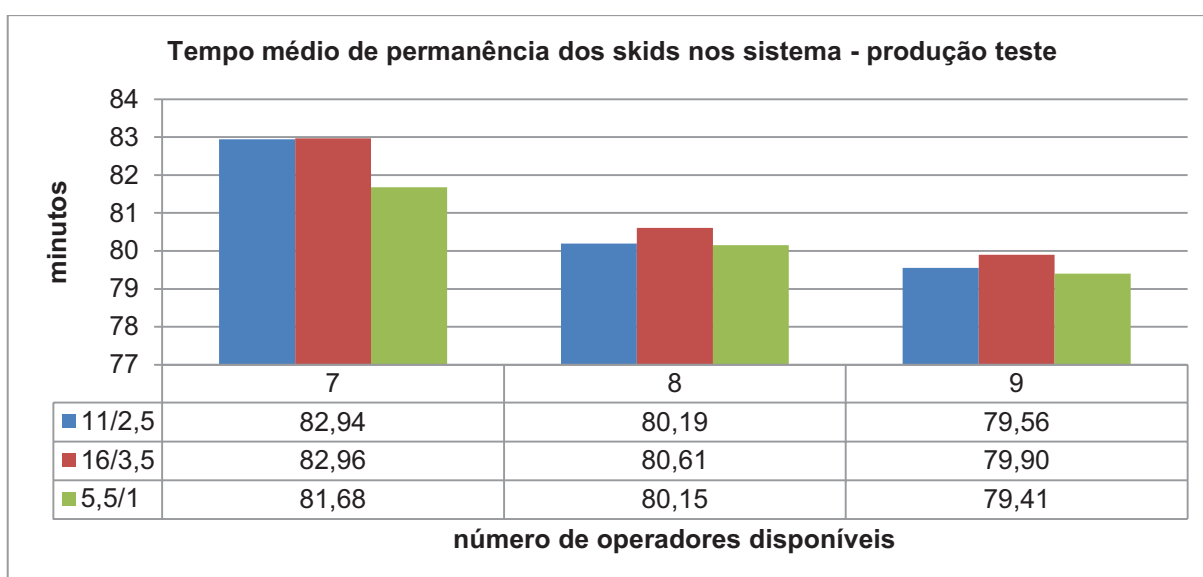


Gráfico 6 - Tempo médio de permanência do *skid* no sistema para a produção teste
 Fonte: Autoria própria.

O gráfico 7 traz as porcentagens de ocupação dos operadores 3, 2 e de serviços gerais para os diferentes cenários testados, para a produção teste. As taxas de ocupação dos operadores também são condizentes com os valores de produção obtidos para cada cenário testado. Com a redução do número de operadores, os restantes devem compensar os que faltam nas atividades de transporte de paletes, aumentando sua taxa de ocupação. Maiores tempos de duração desta atividade contribuíram para fazer com que os operadores permanecessem nesta atividade durante mais tempo.

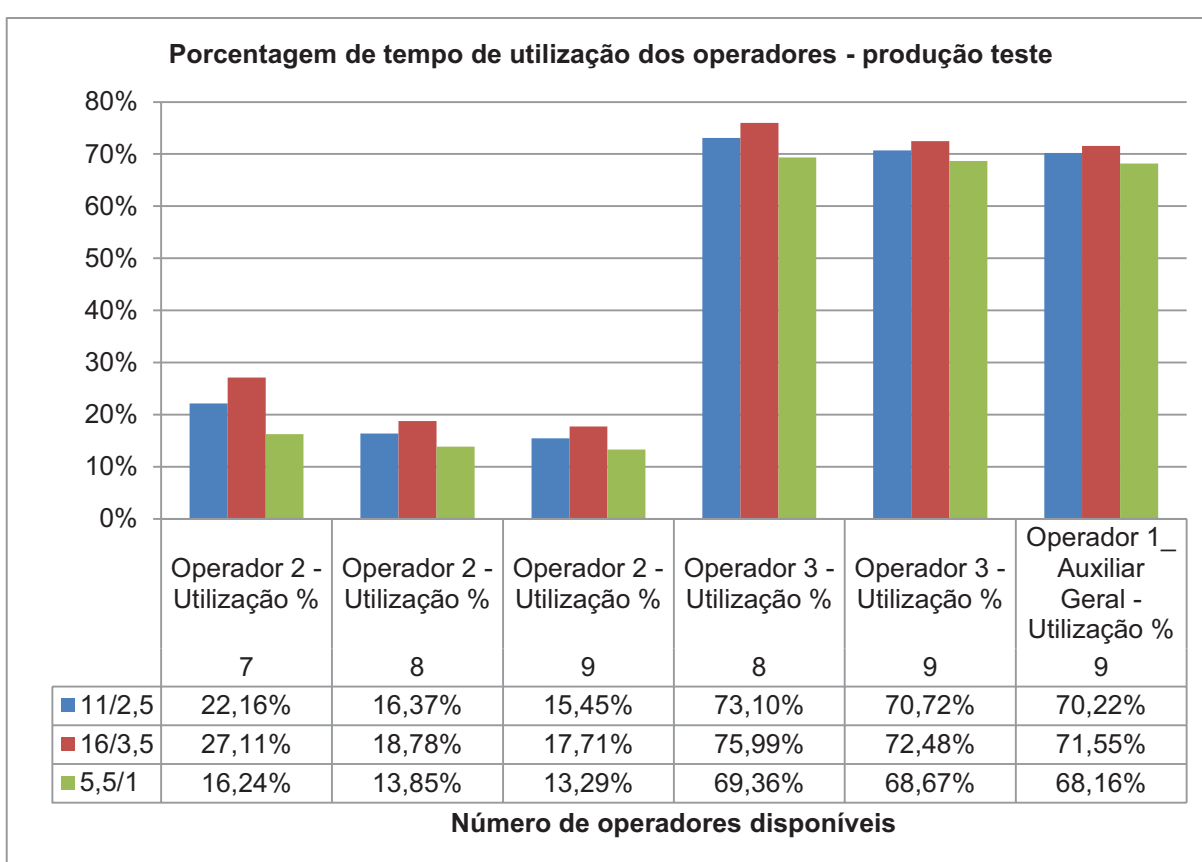


Gráfico 7 – Taxa de ocupação dos operadores para a corrida teste
Fonte: Autoria própria.

Estes valores incluem os tempos em que os operadores não estão disponíveis (intervalos para refeição e banho). Para todos os três recursos analisados, verifica-se que com a redução do número de operadores disponíveis aumenta a taxa de utilização dos recursos restantes. O valor também é diretamente proporcional às variações dos tempos da atividade de transporte de paletes.

O gráfico 8 mostra os valores dos tamanhos médios das filas de paletes no depósito intermediário e no empilhador de paletes. Observa-se que este parâmetro é

inversamente proporcional aos valores dos tempos de transporte de paletes e também ao número de operadores disponíveis. À medida que o número de operadores reduziu e os tempos de transporte de paletes aumentaram, o tamanho médio das filas reduziu, pois esta atividade passou a consumir mais tempo e havia menos operadores disponíveis para realizá-la. Ao reduzir o tempo de transporte de paletes, o tamanho médio das chegou a aumentar, pois com um menor tempo para esta atividade os paletes chegavam mais rapidamente e com maior frequência aos seus destinos.

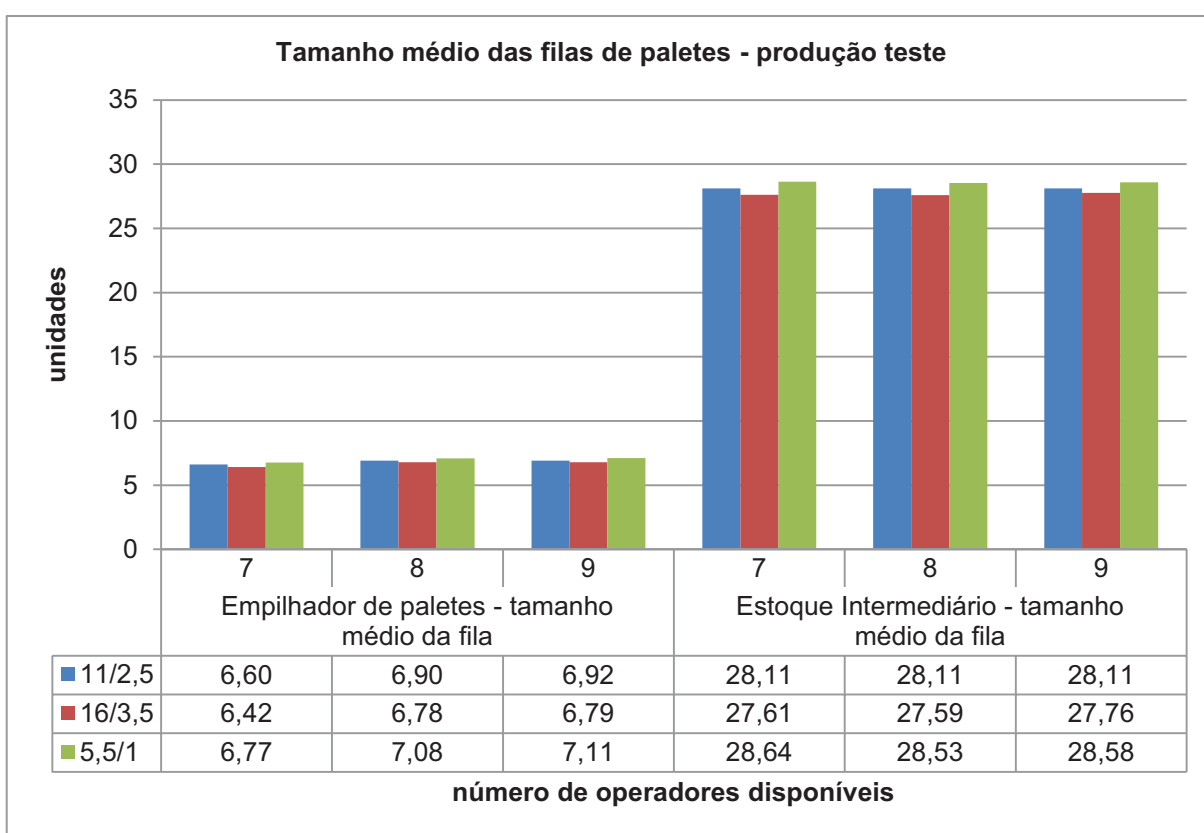


Gráfico 8 – Tamanho médio das filas de paletes para a produção teste
Fonte: Autoria própria.

Os indicadores da cortadeira A estão na tabela 6. Foram calculadas as porcentagens de tempo em que a máquina estava trabalhando, ou parou por quebra, falta de recursos ou troca de produção. Neste modelo, embora não tenha ocorrido nenhuma troca de formato, constam tempos de trocas de produção pois foi utilizado este recurso do *software* para considerar os tempos de parada para troca de *skid*. As taxas de ocupação da cortadeira não sofreram alterações significativas, pois o fenômeno ocorrido foi a redução de sua velocidade e não a parada de máquina.

Tabela 6 – Taxas de ocupação da cortadeira por motivo e cenário testado

Número de operadores	Tempos de transporte		
	11/2,5	16/3,5	5,5/1
7 Operadores			
% de tempo trabalhando	75,06	75,05	75,00
% de tempo parada por quebra	15,91	15,91	15,91
% de tempo parada por falta de recursos	0,00	0,00	0,00
% de tempo em troca de produção	7,84	7,84	7,96
8 operadores			
% de tempo trabalhando	75,95	75,97	75,94
% de tempo parada por quebra	15,91	15,91	15,91
% de tempo parada por falta de recursos	0,00	0,00	0,00
% de tempo em troca de produção	8,14	8,09	8,15
9 operadores			
% de tempo trabalhando	75,89	75,94	75,89
% de tempo parada por quebra	15,91	15,91	15,91
% de tempo parada por falta de recursos	0,00	0,00	0,00
% de tempo em troca de produção	8,20	8,15	8,21

Fonte: Autoria própria.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo atingiu o objetivo de avaliar as influências dos parâmetros chave “número de operadores disponíveis” e “tempos de transporte de paletes” de uma linha de corte de papel cartão em folhas, verificando os ganhos decorrentes da redução destes tempos de transporte de insumos utilizando simulação computacional. Foram coletados dados em campo e de relatórios da empresa para a elaboração de um modelo computacional utilizando o *software Simul8*, que foi validado por meio de comparação dos resultados do modelo com a produção real. Os experimentos conduzidos consistiram em reduzir o quadro de operadores e variar o tempo da atividade de transporte de paletes, e foram analisados os indicadores de unidades produzidas, tempo de permanência dos *skids* no sistema, taxa de ocupação dos operadores, tamanho médio das filas de paletes e porcentagens de tempo de parada e processo da cortadeira A. Os resultados apresentados pelo modelo computacional mostram que há uma influência do número de operadores disponíveis e também do tempo necessário para as atividades de transporte de paletes sobre a produção para a cortadeira, em situações em que é necessário reduzir a velocidade da máquina devido dificuldades na produção. Para as corridas do processo de validação, verificou-se uma redução de unidades produzidas de até 2,5% no pior cenário, ou seja, 2 operadores a menos e aumento do tempo de transporte de paletes em 50%. Para a produção teste, este valor chegou a 4,47%. Os outros indicadores analisados na produção teste auxiliaram a compreender estas diferenças.

Com a verificação da influência das variáveis de número de operadores e tempos de transporte de paletes, a recomendação é que se busque manter estas duas variáveis o maior tempo possível nas condições ótimas, ou seja, 9 operadores e tempos de transporte de paletes do estoque para o depósito intermediário em 11 minutos e do estoque intermediário para o empilhador de paletes em 2,5 minutos. Isto é necessário porque as condições de dificuldades de operação da cortadeira que fazem com que seja reduzida sua velocidade não podem ser previstas facilmente, pois estão relacionadas às condições de matéria prima e manutenção da máquina. Assim, mantendo-se estes dois fatores nos valores padrão as possibilidades de perdas de produção são menores, quaisquer que sejam as condições de matéria prima e de máquina.

Verificou-se também que a redução dos tempos de transporte de paletes ajudou a minimizar as perdas de produção nas situações de quadro reduzido de operadores. O aumento do tempo disponível do quadro operacional permite que os mesmos trabalhem de maneira mais focada no processo, reduzindo a possibilidade de acidentes, perdas de qualidade e produtividade por erros operacionais, e também desenvolver outras atividades dos programas de melhoria contínua existentes na planta que auxiliam no incremento de produção e qualidade. Recomenda-se que sejam feitas análises para quantificar as causas que geram estes maiores tempos de transporte e, baseado nos ganhos em produção levantados no presente estudo, verificar se os custos de implantação destas melhorias são compensados pelo aumento de produção. Sugerem-se estudos para melhorias no arranjo físico da planta, como o aumento da área posterior às máquinas de corte para permitir um fluxo mais livre das empilhadeiras, implementação de um estoque de paletes ao lado da cortadeira A reduzindo as distâncias a serem percorridas com a empilhadeira, e também implantação de um sistema adequado para melhor controle do estoque de paletes, a fim de evitar falta de paletes e dificuldade de se encontrar os mesmos.

O uso da ferramenta de simulação computacional permitiu que fossem manipuladas variáveis de processo sem a interferência no sistema real, possibilitando a comprovação e quantificação da influência destas variáveis na produtividade da planta industrial. As interferências entre estas variáveis puderam ser observadas, o que não seria possível em um modelo analítico, que também não oferece a visualização das interações entre os elementos do sistema durante a simulação como o modelo computacional faz. Este caráter visual da simulação computacional permitiu uma maior compreensão do funcionamento do sistema, auxiliando na análise dos resultados.

De acordo com a revisão de literatura, os resultados da simulação computacional podem ser afetados por uma excessiva simplificação do modelo, ao passo que os autores também recomendam que o detalhamento do simulador deve ser suficiente para alcançar os objetivos traçados. Este equilíbrio é uma das limitações da simulação computacional, e que foi tratada neste estudo por meio da determinação clara do escopo do projeto, dos objetivos e das variáveis de maior impacto sobre os indicadores analisados. Pode-se concluir que a metodologia proposta foi aplicada com sucesso, comprovando as vantagens do uso da simulação

computacional na análise de comportamento de sistemas complexos e demonstrando a sua importância como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

Devem ser avaliados agora se os custos e esforços necessários para implementação das melhorias sugeridas compensam os ganhos em produção. Outra sugestão para estudos futuros é a melhoria do modelo computacional para que se torne mais abrangente, contemplando um maior número de variáveis e também a modelagem de toda a planta das cortadeiras, com as outras máquinas existentes na área a fim de se avaliar os ganhos em toda a planta, não somente para uma máquina.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Rafael Q.; GOLOBOVANTE, Andre F. M.; PRAZERES, Igor P.; OLIVEIRA, Lucas. M.; MARTINS, Luciana.L. Aplicação de Simulação de Processos em um Sistema de Carregamento e Pesagem de Caminhões em uma Mina. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 31., 2011, Belo Horizonte. . **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro, ABEPRO, 2011. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STP_140_888_19330.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Conjuntura BRACELPA**. N. 44, jul. 2012. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-044.pdf>>. Acesso em 01 Agosto 2012.

_____. **Dados do Setor**. Disponível em <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/bolet.pdf>>. Acesso em 01 Agosto 2012.

_____. **Papel - Processo Produtivo**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/169>>. Acesso em: 01 jul. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. **Dados de Mercado 2011**. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/setor/dados-de-mercado/dados-de-mercado-2011>>. Acesso em 23 Outubro 2012.

AZADEH, A. et al. An integrated fuzzy simulation-fuzzy data envelopment analysis algorithm for job-shop layout optimization: The case of injection process with ambiguous data. **European Journal of Operational Research**, v. 03, n. 214, p. 768-779, mai/2011. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0377221711004401/1-s2.0-S0377221711004401-main.pdf?_tid=bae1fd0a-36fa-11e2-ac1f-00000aab0f01&acdnat=1353846308_95f0ffdd68e4aeaa6e6844b13ff56e30>. Acesso em: 24 jun. 2012.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C. **Introdução ao software de simulação Simul8**. Disponível em: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CDkQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.livrosimulacao.eng.br%2Fdownload%2FSobrapo_Simul8_.pdf&ei=9Py_UNC_EouQ8wTVy4DABw&usg=AFQjCNH_CbplonkCxWp_8xSRDg1vo3vT1g&cad=rja>. Acesso em: 30 out. 2012.

EKREN, Banu Y.; ORNEK, Arslan M. A simulation based experimental design to analyze factors affecting production flow time. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 16, p. 278-293, 2008. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/simpat>. Acesso em: 26 mai. 2012.

FREITAS, Paulo. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas – com Aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2001.

GULLICHSEN, Johan; PAULAPURO, Hannu. **Papermaking Science and Technology: Papermaking part 3, finishing**. Helsinki, Finland: Fapet, 2000.

HUQ, F.; HENSLER, D. A.; MOHAMED, Z. A. A simulation analysis of factors influencing the flow time and through-out performance of functional and cellular layouts. **Integrated Manufacturing Systems**, V. 12, n. 4, p. 285-295, 2001.

Disponível em:

<<http://www.emeraldinsight.com.ez48.periodicos.capes.gov.br/journals.htm?issn=0957-6061&volume=12&issue=4&articleid=850883&show=pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Anual – Produto 2010**. Rio de Janeiro, vol. 29, n. 2, 2010. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Industrias_Extrativas_e_de_Transformacao/Pesquisa_Industrial_Anuual/Produto2010/Tabela1.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2012.

KELTON, W.D.; SADOWSKI, Randall P.; SADOWSKI, Deborah A. **Simulation with Arena**. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

KLEN, André M.; GUIMARÃES, Irce F. G.; PEREIRA, Dulce M. A utilização da simulação em gestão hospitalar: aplicação de um modelo computacional em um centro de imobilizações ortopédicas. . In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro, ABEPRO, 2008. Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_074_527_12225.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2012.

MARQUIPWARDUNITED. **Imagem de uma máquina de corte em folhas MarquipWardUnited SheetRunner™ Sheeter**. Disponível em:

<MarquipWardUnited. <http://www.barry-Wehmler.com/image/MarquipWardUnite/PaperMills/GBP%20SheetRunner.JPG>>. Acesso em: 30 ago. 2012.

_____. **Manual de Manutenção 9539160G – Cortadeira**. Wiscosin, 378 p., jul. 1998.

PRADO, Darci. **Usando o Arena em simulação**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

SAKURADA, Nelson; MIYAKE, Dario I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 25-43, jan.- mar. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br.ez48.periodicos.capes.gov.br/pdf/gp/v16n1/v16n1a04.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

SAMISTRARO, Gisely et al. Previsão das propriedades físicas do papel *Kraft* por espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) e regressão por mínimos quadrados parciais (PLS). **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1422-1425, jul. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422009000600011&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 abr. 2012.

SILVA, João E. A. R. da; ALVES, Maria R. P. A.; COSTA, Miguel A. B. da. Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 73-90, 2011. Disponível em : <<http://www.scielo.br.ez48.periodicos.capes.gov.br/pdf/gp/v18n1/06.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

SILVA, Jose M. A. et al. Balanceamento de células flexíveis de manufatura pela otimização das condições operacionais e uso do software Arena. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro, ABEPRO, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_113_739_16449.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2012.

SOARES, João P. M.; BELTRAME, Ediliane; ARAÚJO, César L. K. de; LEMOS, Fernando de O. Racionalização Da Mão-De-Obra E Mudanças De Layout Com Apoio De Simulação Computacional: Estudo De Caso Em Uma Célula De Manufatura In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 30., 2010, São Carlos. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro, ABEPRO, 2010. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_124_802_17095.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2012.

SOUZA, Flávio M.; BACHEGA, Stella J. Simulação computacional: um estudo de caso em uma empresa automobilística. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v.

08, n. 1, p. 59-75, 2012. Disponível em:
<<http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/article/download/895/796>>. Acesso em: 12 ago. 2012.

VISUAL THINKING INTERNATIONAL LTDA. ***Simul8 – Manual and Simulation***

Guide. Disponível em:

<http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fceal.fing.uncu.edu.ar%2Fpublico%2FSimulacion%2FSimul8%2520all%2520version%2FSimul8%2520upgrade%2520v9%2Fmanual.pdf&ei=ov2_UIOwFo3g8ASanoHADQ&usg=AFQjCNEbpi7FTvVR8MLskuO3XeBLbSrBUQ&ad=rja>. Acesso em: 30 out. 2012.

ANEXO A - Planilha de coleta de dados de tempos transporte de paletes

ANEXO B - Dados de tempos de transporte de paletes coletados

Data	hora inicial	hora final	Minutos	número de viagens	Minuto/viagem	destino
20-out-12	8:33	8:35	2	1	2	empilhador
20-out-12	9:23	9:25	2	1	2	empilhador
20-out-12	15:16	15:18	2	1	2	empilhador
21-out-12	21:42	21:44	2	1	2	empilhador
30-out-12	8:45	8:48	3	1	3	empilhador
6-nov-12	1:12	1:15	3	1	3	empilhador
6-nov-12	2:32	2:36	4	1	4	empilhador
6-nov-12	3:18	3:22	3	1	3	empilhador
6-nov-12	6:29	6:33	3	1	3	empilhador
Tempo médio de transporte de paletes do depósito intermediário para empilhador					2,67	

Data	hora inicial	hora final	Minutos	número de viagens	Minuto/viagem	destino
20-out-12	9:56	10:05	9	1	9	estoque int
20-out-12	11:26	11:38	12	1	12	estoque int
21-out-12	18:15	18:28	13	1	13	estoque int
21-out-12	19:43	19:58	15	1	15	estoque int
28-out-12	2:13	2:23	10	1	10	estoque int
28-out-12	2:56	3:03	7	1	7	estoque int
6-nov-12	4:22	4:33	11	1	11	estoque int
Tempo médio de transporte de paletes do depósito para estoque intermediário					11,00	