

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

GABRIELA MACHADO DE SOUZA

**OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUÇÃO NOS
SETORES DE FIAÇÃO E TECELAGEM DE TAPETES DE FIBRA
NATURAL UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2020

GABRIELA MACHADO DE SOUZA

**OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUÇÃO NOS
SETORES DE FIAÇÃO E TECELAGEM DE TAPETES DE FIBRA
NATURAL UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, apresentado ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Leandro Stebel

CURITIBA
2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Curso de Especialização em Automação Industrial



TERMO DE APROVAÇÃO

OTIMIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PRODUÇÃO NOS SETORES DE FIAÇÃO E
TECELAGEM DE TAPETES DE FIBRA NATURAL UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO
LINEAR

por

GABRIELA MACHADO DE SOUZA

Esta monografia foi apresentada em 29 de Maio de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Sergio Leandro Stebel
Orientador

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas
Membro titular

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol
Membro titular

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

RESUMO

SOUZA, Gabriela Machado de. **Otimização da distribuição de produção nos setores de fiação e tecelagem de tapetes de fibra natural utilizando programação linear.** 2020. 34 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

O presente trabalho faz um estudo sobre os processos de fiação e tecelagem de fibras naturais em uma indústria têxtil com o objetivo de otimizar a distribuição da produção nos maquinários instalados. Os dados foram coletados de maneira que não houvesse distorção ou influências externas e posteriormente analisados. O método utilizado para buscar uma otimização no processo foi o da programação linear, havendo o levantamento da função objetivo e restrições das variáveis.

Palavras-chave: Fiação. Tecelagem. Fibras Naturais. Programação Linear.

ABSTRACT

SOUZA, Gabriela Machado de. **Optimization of production flow on spinning and weaving areas in natural fibres carpets with linear programming.** 2020. 34 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

This academic work presents a study about spinning and weaving processes of natural fibres in a textile industry with the objective to optimize machinery production flow. Data were collected in a way that no distortion or external influence could impact that and lately were analysed. The method used to optimize the process was the linear programming, developing the objective function and the variable's restrictions.

Keywords: Spinning. Weaving. Natural Fibre. Linear Programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo	11
Figura 2 - Classificação das fibras.....	12
Figura 3 - Padrões de fibras de sisal	12
Figura 4 - Tinturaria de fibras	13
Figura 5 - Secadora de fibras	13
Figura 6 - Preparação para fiação	14
Figura 7 - Fiação	14
Figura 8 - Entrada de fios no tear	15
Figura 9 - Esquema de tecido com fio e trama e urdume	16
Figura 10 - Tear.....	16
Figura 11 - Revisão	17
Figura 12 - Mesa de corte e costura.....	18
Figura 13 - Detalhe entrelaçamento de fios.....	22
Figura 14 - Detalhe entrelaçamento de fios.....	22
Figura 15 - Tapete de sisal acabado	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Detalhes técnicos dos produtos	23
Tabela 2 - Níveis de produção máximo e mínimo	24
Tabela 3 - Capacidade produtiva dos filatórios.....	25
Tabela 4 - Produtividade total por tipo de fio	25
Tabela 5 - Capacidade da tecelagem.....	26
Tabela 6 - Resultado final tecelagem	31
Tabela 7 - Resultado final fiação	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 PROBLEMA	8
1.2 OBJETIVOS	9
1.2.1 Objetivo Geral	9
1.2.2 Objetivos Específicos	9
1.3 JUSTIFICATIVA	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
2.1 O PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA TÊXTIL	11
2.1.1 Fluxograma do Processo Produtivo	11
2.1.2 Preparação das Fibras	12
2.1.3 Tingimento de Fibras	13
2.1.4 Fiação	14
2.1.5 Tecelagem	15
2.1.6 Revisão	17
2.1.7 Corte	18
2.1.8 Costura	18
2.1.9 Embalagem	18
2.1.10 Expedição	19
2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR	19
3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA	21
3.1 METODOLOGIA	21
3.2 DEFINIÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS	21
3.2.1 Densidade dos Produtos	21
3.2.2 Mix de Produtos	23
3.2.3 Capacidade da Fiação	24
3.2.4 Capacidade da Tecelagem	25
3.3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	26
3.3.1 Função Objetivo	26
3.3.2 Restrições	27
3.3.3 Restrição de Produção	28
3.3.4 Restrição de Mix de Produto	28
3.3.5 Restrição da Fiação	29
3.3.6 Restrição da Tecelagem	30
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	31
4.1 OTIMIZANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS MAQUINÁRIOS	31
5 CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se verificado um constante aumento da preocupação do impacto socioambiental. Na área têxtil, essa preocupação tem interferido nos hábitos de consumos nos mais variados setores, como transporte, vestuário e decoração.

Produtos têxteis sintéticos de origem fóssil, como poliéster e polipropileno têm sido considerados escolhas não sustentáveis devido ao fato de essas fibras têxteis não serem renováveis além de não poderem ser degradadas facilmente pelo meio ambiente. Devido à isso, tem se reduzido seu consumo e a busca por matérias-primas alternativas como fibras naturais tem se tornado cada vez mais constante no setor têxtil.

Existe atualmente um aumento da demanda de produtos têxteis feitos de fibras naturais devido ao seu apelo sustentável (TONIOLLO; ZANCAN; WÜST; 2015).

As fibras têxteis naturais de origem vegetal como algodão, linho, juta, rami e sisal são encontradas na natureza e precisam apenas ser extraídas e preparadas para produção de fios e tecidos que serão utilizados nas mais diversas aplicações nas áreas de vestuário e decoração.

Fibras de sisal e juta são utilizadas como matéria-prima para produção de tapetes decorativos devido à sua alta resistência ao atrito e capacidade de tingimento em diversas cores.

O Brasil é reconhecido mundialmente pela produção de fibra de sisal e exporta a maior do material beneficiado no país, servindo de matéria-prima para artigos produzidos em fábricas localizadas na Ásia, como Índia e China.

A extração e beneficiamento primário de fibras de sisal é feito no próprio campo para em seguida partir para pequenas indústrias que realizam o beneficiamento secundário da fibra, deixando-a pronta para seu uso para produção de cordas e fios de tapetes.

Buscando oferecer produtos acabados mais competitivos no mercado global, indústrias nacionais, próximas às áreas produtivas têm se desenvolvido para produzir e entregar tapetes já acabados, com maior valor agregado e não apenas matéria-prima. Tais indústrias têm procurado se desenvolver buscando novas soluções a fim de otimizar a produtividade, seja com automação de atividades

chaves ou até mesmo a otimização de alguns processos para assim concorrer com os atuais produtores na Ásia com bastante experiência no setor

A alteração do fluxo de produção e a instalação de indústrias de produto acabado próximo às áreas produtivas no Brasil gera emprego, renda e desenvolvimento de regiões antes conhecidas apenas como fornecedoras de insumos e material semi acabado.

Com base nessas observações, será analisada uma indústria têxtil de tapetes de fibras naturais localizada no interior da Bahia, com foco nos processos de fiação e tecelagem.

Os setores de fiação e tecelagem são as principais etapas que definem o tipo de fio e tapetes que serão produzidos, criando assim o *mix* de produtos a ser oferecido ao mercado.

Esses dois processos concentram a maior parte dos investimentos das instalações dos maquinários. Devido a isso, é necessário que se utilize ao máximo a capacidade instalada nesses setores.

A disposição dos produtos em cada área deve levar em consideração os artigos que serão produzidos com otimização da utilização dos maquinários. Assim, faz-se necessário o controle da distribuição dos artigos nas máquinas de fiação e tecelagem.

Atualmente, dentro da indústria em questão, busca-se implementar um controle da produção de acordo com o mix de produtos atual.

Como uma forma de unir e aplicar este contexto, será proposto nesse trabalho uma forma de otimizar o processo da distribuição da produção dos setores de fiação e tecelagem de tapetes de fibra natural utilizando programação linear.

1.1 PROBLEMA

Tapetes de fibras naturais como o sisal e juta são alternativas para produtos feitos de fibra sintética não renovável, como poliéster e polipropileno.

Dentro de toda a indústria têxtil, a fiação é o setor que transforma fibras em fios. Os fios são matéria-prima para tecidos e na indústria em questão são utilizados para a produção de tapetes. Os fios são produzidos internamente adquirindo-se fibras de fornecedores locais.

O setor de fiação é composto por filatórios que têm capacidade de produzir

fios com uma relação entre massa e comprimento de fio pré definida. Essa relação é chamada título do fio e influencia a produtividade dos filatórios. Os fios produzidos são estocados de acordo com o lotes de produção e em seguida direcionados ao setor de tecelagem.

A tecelagem é composta por maquinários denominados teares, que são máquinas responsáveis por transformar os fios em rolos de tecido. Chamam-se de rolos, pois posteriormente serão cortados e costurados transformando-se em tapetes acabados.

Cada tear tem uma capacidade produtiva definida. A produtividade dos teares e peso dos rolos depende diretamente da padronagem do tecido utilizado e tipo de fio selecionado para formar o tapete.

Os rolos de tapetes são enviados ao setor de revisão e em seguida direcionados para corte e costura para que sejam acabados e transformados em tapete.

O objetivo desse trabalho será otimizar os processos de fiação e tecelagem, trabalhando com as variáveis que influenciam diretamente os processos, ficando fora do escopo do trabalho os demais processos na sequência da tecelagem.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo dessa monografia é otimizar a distribuição de produção das linhas de fibra natural usando programação linear.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral neste trabalho de conclusão de curso de especialização os seguintes objetivos específicos serão abordados:

- Elaborar Fluxo de processo produtivo de tapetes de fibra natural.
- Mapear capacidade produtiva dos setores de tecelagem e fiação.
- Definir as restrições de modelagem.
- Elaborar um modelo de programação linear para maximizar utilização dos maquinários instalados no filatório e tecelagem.
- Validar a solução no modelo.

1.3 JUSTIFICATIVA

A falta de dimensionamento e distribuição dos artigos produzidos nas áreas de fiação e tecelagem em uma indústria de tapetes pode impactar diretamente na produtividade da empresa como um todo, já que todos os produtos produzidos pela fábrica são destinados à atender as especificações conforme os pedidos dos clientes.

Gargalos nos demais setores ou um momento de ociosidade muito grande podem ser gerados devido ao fato de a fiação produzir fios de títulos diferentes e a tecelagem produzir rolos com padronagens diferentes. Os dois fatores podem ocasionar desperdício em relação ao investimento feito nos maquinários.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a seguinte estrutura:

- Capítulo 1 – Introdução: serão apresentados o tema, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.
- Capítulo 2 – Fundamentação teórica: No segundo capítulo é feita uma introdução aos processos da indústria têxtil, diretamente ligados ao sistema em análise, descrevendo seu funcionamento. Neste capítulo também será abordado o conceito de programação linear com foco em pesquisa operacional.
- Capítulo 3 – Desenvolvimento do tema: O capítulo três introduz o passo a passo para a formulação matemática, apresentando a função objetivo e as restrições do sistema. Serão apresentadas metodologia de trabalho, definição e apresentação dos dados coletados.
- Capítulo 4 – Apresentação e análise dos resultados: Neste capítulo serão descritos como os resultados foram obtidos, será apresentado o resultado obtido pela maximização do uso de maquinários e em seguida análise dos mesmos.
- Capítulo 5 – Conclusão: serão retomados os objetivos da pesquisa e apontado como foram solucionados, respondidos, atingidos, por meio do trabalho realizado além das conclusões obtidas com esse trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O PROCESSO PRODUTIVO DA INDÚSTRIA TÊXTIL

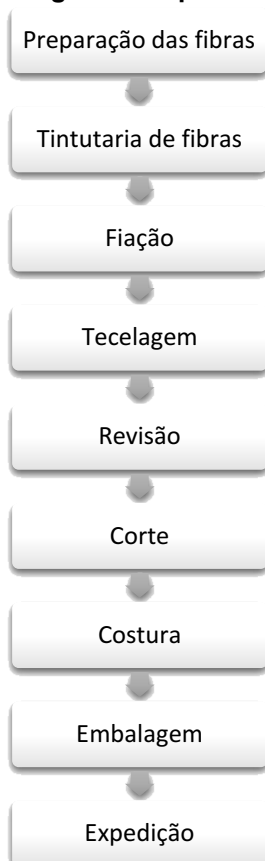
O processo produtivo da indústria têxtil é uma sequência de atividades operacionais que se iniciam no beneficiamento da fibra, passando por toda a produção até chegar ao setor de expedição (SEBRAE, 2008).

De acordo com as políticas internas de cada indústria, algumas das etapas podem ser terceirizadas, no entanto para a obtenção do produto acabado como resultado final, os processos são muito similares independentemente do tamanho da empresa ou do produto a ser entregue.

2.1.1 Fluxograma do Processo Produtivo

As etapas do processo produtivo de tapetes de fibras naturais garantem que o produto seja produzido de acordo com as especificações técnicas pré-definidas conforme Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo produtivo



Fonte: Autoria própria.

2.1.2 Preparação das Fibras

Dentro da fábrica, ao receber a matéria-prima proveniente dos fornecedores de fibra beneficiada, é necessário prepará-las para as etapas seguintes, realizando processos de limpeza, removendo impurezas que possam comprometer a qualidade do produto final.

Um dos processos utilizados é chamado batimento, onde as fibras são escovadas, segregadas e em seguida classificadas seguindo padrões, de acordo com a qualidade e destinação final de acordo com produto a ser produzido como ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Classificação das fibras



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 - Padrões de fibras de sisal



Fonte: Autoria própria.

2.1.3 Tingimento de Fibras

Tingimento ou coloração consiste em colorir todo o substrato de uma única vez (ANDRADE FILHO; SANTOS, 1984). Esse beneficiamento é feito com corantes e produtos químicos auxiliares em máquinas autoclaves, trabalhando em altas temperaturas, como na Figura 4.

Figura 4 - Tinturaria de fibras



Fonte: Autoria própria.

Após o processo de secagem, ilustrado na Figura 5, as fibras tingidas estão prontas para a próxima etapa de fiação.

Figura 5 - Secadora de fibras



Fonte: Autoria própria.

2.1.4 Fiação

O setor de fiação é responsável por uma das principais atividades dentro da indústria têxtil, pois nela as fibras são transformadas em fios de acordo com especificação do produto a ser obtido.

Esse departamento recebe fibras pré-tratadas, na cor natural ou tingida e inicia o processo realizando paralelização das fibras através de engrenagens, formando assim feixes de fibras paralelas que serão utilizadas para produzir o fio como apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Preparação para fiação



Fonte: Autoria própria.

A fiação propriamente dita é formada por um conjunto de filatórios que produzem os fios em partes chamadas fusos, conforme Figura 7.

Figura 7 - Fiação



Fonte: Autoria própria.

Nessa área, feixes de fibras paralelas passam pelos fusos, que possuem um conjunto de cilindros rotatórios superiores e inferiores com velocidades distintas da entrada para a saída, permitindo que as fibras deslizem umas sobre as outras, estirando o feixe, seguidos por uma torção, originando assim o fio.

É importante salientar que é nessa fase que se define a densidade linear ou diâmetro do fio, que tecnicamente é chamado de título, ou seja, sua relação entre comprimento e massa.

O título é basicamente determinado pelas velocidades de entrada e saída durante a estiragem. Quanto mais estirado o feixe, menor o diâmetro do fio.

Essa característica do fio é importante, pois influencia diretamente as características do tapete depois de acabado.

2.1.5 Tecelagem

A tecelagem é o setor da indústria responsável por receber fios como matéria prima e transformá-los em rolos de tecido através do entrelaçamento dos fios. Os rolos de tecido serão utilizados nos demais processos e transformados em tapetes.

Nessa área são utilizadas máquinas denominadas de teares, que são responsáveis por elaborar as tramas dos tecidos, trabalhando em um sistema linear. Os teares são alimentados por bobinas de fios que ficam alocados em estantes na parte de trás do tear chamados de gaiolas como na Figura 8.

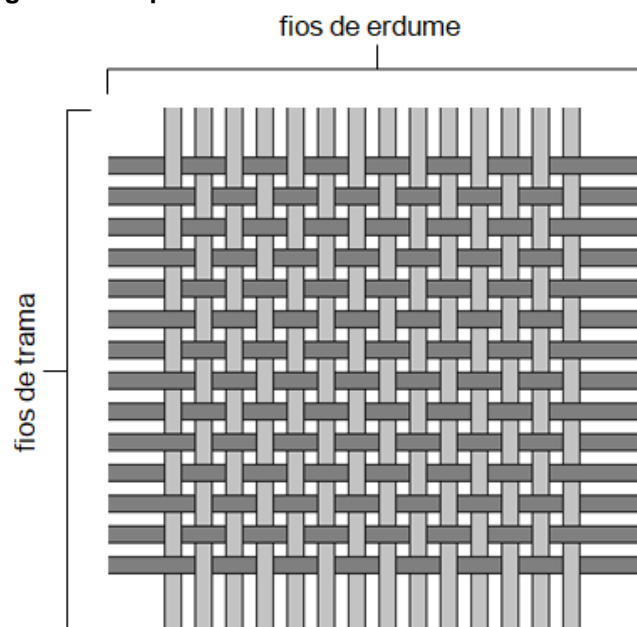
Figura 8 - Entrada de fios no tear



Fonte: Autoria própria.

Os fios são entrelaçados por sistema de vai e vem, com fios armazenados em espulas. Como resultado, obtêm-se o tecido que é o entrelaçamento de fios de trama e urdume como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 - Esquema de tecido com fio e trama e urdume



Fonte: Autoria própria.

Atualmente existem no mercado teares de lançadeira por projétil, hastes e jatos de ar ou água. Na indústria desse estudo, utilizam-se teares de lançadeira projétil, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Tear



Fonte: Autoria própria.

Na indústria analisada, os teares são operados por dois funcionários sendo que a principal atividade do operador é fazer o acompanhamento para correto funcionamento do tear, verificar se os tecidos estão sendo produzidos de acordo com especificação e amostra referência, repor o fio e solicitar qualquer manutenção técnica caso seja necessário.

O funcionamento dos teares é muito simples. O princípio do projétil se baseia na ideia de que uma barra é levada ao extremo de sua torção para em seguida distorcer retornando a sua posição original, entrelaçando fios, tornando o movimento contínuo, produzindo o tecido em uma certa velocidade.

Após o tecido sair do tear, os rolos são estocados e enviados para a área de revisão.

2.1.6 Revisão

Na área de revisão, os rolos de tecido passam individualmente por verificação em máquinas verticais, como na Figura 11, onde o operador consegue detectar e reparar pequenos defeitos e desvios que podem ter sido gerados durante o processo de tecelagem. Esses pequenos desvios são revisados e corrigidos manualmente para que o produto fique todo pronto para a área de corte e costura.

Figura 11 - Revisão



Fonte: Autoria própria.

2.1.7 Corte

Os rolos de tecido revisados são encaminhados para a área de corte e costura para serem transformados em tapetes.

Em uma mesa, o produto é desenrolado e cortado na dimensão correta preparando o produto para ser costurado como apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Mesa de corte e costura



Fonte: Autoria própria.

2.1.8 Costura

Ao receber os produtos semi acabados e já cortados nas dimensões corretas, esse setor realiza a etapa final de acabamento na confecção dos produtos antes de serem embalados.

Os produtos cortados são colocados nas máquinas de costura, operadas por um funcionário que costura as bordas alinhando o produto, evitando que o tapete fique com costuras tortas e fios rompidos.

Ao concluir essa etapa os tapetes ficam prontos para embalagem.

2.1.9 Embalagem

O setor de embalagem recebe os produtos já acabados e dispõe os tapetes em embalagens que vão proteger o produto durante o transporte e armazenagem até o ponto de venda para posteriormente serem entregues ao consumidor final.

Na indústria em questão, os tapetes são enrolados em cânulas de papel e em seguida colocados em sacos plásticos transparentes para que seja possível identificar a cor dos produtos e ter acesso às etiquetas facilmente.

Depois de enrolados são colocados em caixas identificadas por lotes de produção, facilitando o transporte dos produtos, que é feito por empilhadeiras.

Depois dessa etapa, o produto está pronto para ser estocado e fica armazenado internamente, pronto para ser entregue de acordo com os pedidos dos clientes.

2.1.10 Expedição

A expedição tem por objetivo carregar as peças conforme os pedidos dos clientes e encaminhá-los para o transporte.

2.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR

Dentro do campo de pesquisa operacional, a programação linear é uma das técnicas mais utilizadas quando se tem por objetivo otimizar um processo, tendo como base um grupo de restrições lineares. A linearidade dos sistemas torna a sua aplicabilidade simples, tornando esse método muito utilizado (FREDERICK; GERALD, 2010).

Ao utilizar processos de programação linear, o objetivo é maximizar ou minimizar uma função linear, denominada função objetivo, respeitando um sistema de desigualdades, denominadas restrições do modelo.

Essas restrições determinam a região denominada de conjunto viável, ou seja, todas as soluções para o problema estão limitadas e a que melhor soluciona o sistema é chamada de solução ótima do sistema.

Existem sete passos para a aplicação dos métodos de pesquisa operacional e coleta dos resultados finais (WINSTON, 1994). São eles:

- I. **Orientação do problema:** etapa que consiste em identificar qual é o problema.
- II. **Definição do problema:** etapa em que se busca compreender o problema mais profundamente e identificar quais são as variáveis que afetam o sistema como um todo.
- III. **Coletar informações:** com as variáveis identificadas, essa etapa orienta a coletar as informações pertinentes a cada uma delas, como medições de tempo de processo, capacidade produtiva de um determinado setor, etc.

- IV. **Formulação do modelo matemático:** ao chegar nesse estágio, deve-se encontrar qual o modelo matemático que gera o sistema como um todo. É a etapa do processo que serão formuladas as funções objetivos do sistema assim como as restrições.
- V. **Solução do problema:** após obter todas as informações necessárias o problema pode ser solucionado utilizando alguns dos métodos de programação linear.
- VI. **Validação e análise de dados:** depois de se obter os valores de otimização do sistema deve-se validar os dados, comparando os valores obtidos com a função objetivo, que é a responsável por maximizar ou minimizar um processo, para uma análise de validação.
- VII. **Implementação e validação:** depois de validar os dados o correto é colocar as informações obtidas em prática e ter a possibilidade de poder validar os dados na prática.

3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

3.1 METODOLOGIA

Para realização do trabalho, uma série de etapas foi elaborada e cumprida para a obtenção dos dados e informações.

A primeira etapa foi aprofundar os conhecimentos nos métodos industriais do setor têxtil. Para isso foi realizado um estudo intensivo em cada uma das áreas na fábrica analisada.

A segunda etapa foi a escolha de métodos para otimizar o processo com o levantamento da revisão bibliográfica, focada em literaturas técnicas da indústria têxtil e matérias sobre pesquisa operacional com enfoque em programação linear.

A terceira etapa foi primordial para a elaboração desse trabalho, com o desenvolvimento do modelo de programação linear, objetivando otimizar o processo de distribuição da produção da fábrica, para melhor utilização do maquinário instalado.

Por final, os resultados obtidos foram avaliados.

3.2 DEFINIÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Como o objetivo desse trabalho é otimizar a distribuição da produção nos setores de fiação e tecelagem, foram analisados os processos da empresa em questão, com o intuito de compreender a forma de trabalho nessas áreas e identificar quais as informações mais relevantes para em seguida levantar os dados que influenciam na resolução do problema.

A seguir são apresentados os conjuntos de dados e parâmetros desse setores, sendo que os parâmetros representam as condições que o modelo deve respeitar.

3.2.1 Densidade dos Produtos

No momento da pesquisa, a fábrica de tapetes produzia sete diferentes padronagens de artigos, identificadas de 1 até 7.

Cada padronagem é formada pelo entrelaçamento de fios de trama e urdume, com titulações diferentes em uma determinada quantidade por unidade de comprimento definidas de acordo com o desenvolvimento do produto. As

padronagens definem os desenhos finais de cada artigo. Três exemplos de diferentes padronagens são apresentados nas Figuras 13, 14 e 15.

Figura 13 - Detalhe entrelaçamento de fios



Fonte: Autoria própria¹.

Figura 14 - Detalhe entrelaçamento de fios



Fonte: Autoria própria.

Figura 15 - Tapete de sisal acabado



Fonte: Autoria própria.

¹ Fotos ilustrativas de produtos. Disponível em: <<https://www.manatapetes.com.br/>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

Como resultado final, obtêm-se produtos com variável peso por unidade de área. Essa unidade é chamada gramatura ou densidade, medida em quilos por metro quadrado (kg/m²).

Na Tabela 1 são apresentados os detalhes técnicos de cada padrão, com dados dos títulos de fios na trama e urdume, o percentual em peso e a densidade de cada tipo de fio na composição final do tapete além da densidade final de cada uma das sete padronagens.

Tabela 1 - Detalhes técnicos dos produtos

Código produto	Posição no tapete	Título (kg/m)	Peso no tapete (%)	Peso em fio (kg/m²)	Densidade final do tapete (kg/m²)
1	Trama	806	20%	0.334	1.668
	Urdume I	806	20%	0.334	
	Urdume II	806	60%	1.001	
2	Trama	806	15%	0.353	2.354
	Urdume I	152	42%	0.989	
	Urdume II	152	30%	0.706	
	Urdume III	806	13%	0.306	
3	Trama	183	10%	0.285	2.845
	Urdume	340	90%	2.561	
4	Trama	806	19%	0.542	2.850
	Urdume I	806	23%	0.656	
	Urdume II	152	58%	1.653	
5	Trama	638	12%	0.246	2.048
	Urdume	638	88%	1.802	
6	Trama	152	36%	1.293	3.593
	Urdume	152	64%	2.300	
7	Trama	806	19%	0.545	2.869
	Urdume I	806	19%	0.545	
	Urdume II	145	62%	1.779	

Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Mix de Produtos

Seguindo a demanda de produtos do mês estudado, para não ocasionar atrasos nas entregas dos pedidos já solicitados pelos clientes, as ordens de produção determinam que a distribuição dos artigos para aquele mês devem respeitar os volumes percentuais mínimos e máximos do total a ser produzido em metros quadrados por hora (m²/h) conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Níveis de produção máximo e mínimo

Produto	Produção Mínima	Produção máxima
1	10%	40%
2	5%	60%
3	0%	20%
4	8%	40%
5	9%	60%
6	2%	30%
7	8%	35%

Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Capacidade da Fiação

A capacidade produtiva da fiação é definida como a quantidade total em quilos de fios produzida em uma hora (kg/h).

No setor de fiação em estudo, estão dispostos 14 filatórios agrupados em três tipos, de acordo com a gama de fios que podem produzir.

Cada filatório é composto por um conjunto de fusos que possui um jogo de engrenagens que determinam quais títulos aquele maquinário será capaz de produzir.

Assim, deve-se considerar que cada filatório tem capacidade de produzir um tipo específico de título de fios.

O título dos fios impacta diretamente na capacidade produtiva desse setor, uma vez que é a relação entre quilos por metro linear de fio.

A Tabela 3 apresenta dados de cada filatório enumerados de 1 a 14, com informação de quais os títulos máximos e mínimos em metros por quilo (m/kg) produzido por cada filatório, a quantidade total de fusos de cada filatório, a produtividade média de cada fuso em quilos por hora (kg/h) e a produtividade total de cada filatório em quilos por hora (kg/h).

Tabela 3 - Capacidade produtiva dos filatórios

Filatório	Título Máximo (m/kg)	Título Mínimo (m/kg)	Número de Fusos	Produção por fuso (kg/h)	TOTAL (kg/h)
1	1000	500	48	1.3	62.4
2	1000	500	48	1.3	62.4
3	1000	500	48	1.3	62.4
4	1000	500	48	1.3	62.4
5	1000	500	48	1.3	62.4
6	1000	500	48	1.3	62.4
7	1000	500	48	1.3	62.4
8	499	200	30	3.5	105
9	499	200	30	3.5	105
10	499	200	30	3.5	105
11	499	200	30	3.5	105
12	199	120	12	8.5	102
13	199	120	12	8.5	102
14	199	120	12	8.5	102

Fonte: Autoria própria.

Com base na Tabela 3, considerando a quantidade total de filatórios é possível determinar a produtividade máxima por tipo de fio em quilos por hora (kg/h), como demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Produtividade total por tipo de fio

Título máx. (m/kg)	Título mín. (m/kg)	Produção (kg/h)
1000	500	436.8
499	200	420
199	200	306

Fonte: Autoria própria.

3.2.4 Capacidade da Tecelagem

A capacidade produtiva da tecelagem é definida como a quantidade total em metros quadrados de tapete produzidos em uma hora (m^2/h).

A indústria em questão conta com 14 teares nomeados de A até J, trabalhando em um turno de segunda a sexta-feira.

Para que não seja gerado gargalo na produção nos setores seguintes, a capacidade máxima produtiva da tecelagem é limitada a 450 m²/h.

Cada uma das sete padronagens ao ser produzida nos teares tem uma velocidade variável em metros por hora (m/h), dependendo da densidade de fios por comprimento do tapete. A velocidade em metros por hora (m/h) está apresentada na Tabela 5.

Cada padronagem de tapete só pode ser produzida em um tear que tenha capacidade técnica de desenvolver aquele tipo de construção de tecido devido às configurações dos teares. Na Tabela 5, quando a informação apresentada é nula (0.0), existe a indicação de que aquele produto não pode ser produzido no tear indicado.

Considerando que cada tear produza rolos de tecido com 3 metros de largura, a capacidade produzida em metros quadrados por hora (m²/h) em cada tear e a produção total será dada conforme apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 - Capacidade da tecelagem

Produto	Velocidade (m/h)	Tear A (m ² /h)	Tear B (m ² /h)	Tear C (m ² /h)	Tear D (m ² /h)	Tear E (m ² /h)	Tear F (m ² /h)	Tear G (m ² /h)	Tear H (m ² /h)	Tear I (m ² /h)	Tear J (m ² /h)	TOTAL (m ² /h)
1	8.2	24.6	24.6	24.6	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.4
2	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	171.0
3	12	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0	72.0
4	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	43.2	43.2	0.0	0.0	0.0	43.2	129.6
5	17.5	52.5	52.5	52.5	52.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	210.0
6	27	81.0	81.0	81.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	243.0
7	13	39.0	39.0	39.0	39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	156.0

Fonte: Autoria própria.

3.3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Nesta seção, descrevem-se o detalhamento do problema abordado na pesquisa, os conjuntos de dados, a formulação matemática do modelo e a abordagem utilizada para a sua solução.

3.3.1 Função Objetivo

O primeiro passo para modelagem de um problema de Programação Linear é a determinação das variáveis de decisão do problema. No caso em questão, deve-se determinar quantos metros quadrados de cada tipo de tapete devem ser produzidos por hora.

Em tempo, as variáveis de decisão são:

- x_1 - Metros quadrados por hora do Produto 1
- x_2 - Metros quadrados por hora do Produto 2
- x_3 - Metros quadrados por hora do Produto 3
- x_4 - Metros quadrados por hora do Produto 4
- x_5 - Metros quadrados por hora do Produto 5
- x_6 - Metros quadrados por hora do Produto 6
- x_7 - Metros quadrados por hora do Produto 7

O segundo passo é determinar qual objetivo deve ser buscado. No caso da indústria estudada, quanto mais se utilizam os maquinários disponíveis, melhor é feito o aproveitamento dos equipamentos instalados e mais rápido se tem um retorno do que foi investido na fábrica.

Por isso nesse momento a função objetivo tem por finalidade maximizar a utilização dos filatórios e teares, levando em consideração as características dos fios e entrelaçamento de cada tapete, de acordo com *mix* de produto definido durante a coleta de dados.

Para elaborar a função objetivo precisa-se trabalhar com as variáveis que representam a produção em quilos por metro quadrado para cada uma das padronagens dos produtos.

Com todas as informações coletadas pode-se partir para a função objetivo que é representada pela maximização da função Z em relação as variáveis x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 e x_7 , conforme a função objetivo (1).

$$\text{MAX } Z: 1,668x_1 + 2,354x_2 + 2,845x_3 + 2,850x_4 + 2,048x_5 + 3,593x_6 + 2,869 x_7 \quad (1)$$

3.3.2 Restrições

Uma vez determinado o objetivo e as variáveis de decisão, deve-se notar que algumas restrições se impõem ao modelo.

Para modelar adequadamente o problema por meio de técnicas de Pesquisa Operacional é importante identificar as restrições do sistema. As restrições estão relacionadas aos recursos da empresa e devem ser satisfeitas. Não atendê-las implica em produzir uma solução inviável (LACHTERMACHER, 2007).

A primeira restrição é em função da capacidade total de metros quadrados produzidos pela tecelagem em uma hora.

A segunda restrição delimita os volumes máximos e mínimos de produção para manter o *mix* de produtos.

As restrições seguintes condicionam a produção à capacidade produtiva da fiação e tecelagem para que seus valores estejam dentro da expectativa da indústria.

3.3.3 Restrição de Produção

O total de metros quadrados produzidos em uma hora não deve exceder o total de 450 m²/h disponível para a tecelagem.

Com base nas variáveis, matematicamente a primeira restrição se aplica conforme a inequação (2).

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 \leq 450 \quad (2)$$

O lado esquerdo da restrição representa o total produzido de todos os produtos em metros quadrados por hora, enquanto o lado direito representa a disponibilidade deste recurso em total de metros quadrados por hora.

3.3.4 Restrição de Mix de Produto

A segunda restrição delimita o percentual a ser produzido de acordo com apresentado na Tabela 2, ou seja, deve-se atender aos pedidos já efetuados e manter o *mix* de produtos.

Tendo como base o total de 450m²/h, o total a ser produzido em termos percentuais é demonstrado nas restrições de (3) até (9).

$$0,1 \leq x_1 \leq 0,4 \quad (3)$$

$$0,05 \leq x_2 \leq 0,4 \quad (4)$$

$$0 \leq x_3 \leq 0,2 \quad (5)$$

$$0,08 \leq x_4 \leq 0,4 \quad (6)$$

$$0,09 \leq x_5 \leq 0,6 \quad (7)$$

$$0,02 \leq x_6 \leq 0,3 \quad (8)$$

$$0,08 \leq x_7 \leq 0,35 \quad (9)$$

3.3.5 Restrição da Fiação

O total consumido pela tecelagem em quilos de fios por metro quadrado não pode exceder a capacidade produtiva para cada tipo de fio na fiação.

Assim, a somatória do consumo de cada um dos três tipos de fio não pode ser maior que a capacidade dos filatórios como definida pela Tabela 4.

Com base na Tabela 1, é possível determinar qual o consumo em quilos de fios por metro quadrado para cada um dos sete produtos como descrito a seguir:

- **Produto 1:** Para esse artigo tem-se 100% do peso em fios de 1000 a 500 m/kg.
- **Produto 2:** Trama e Urdume III são de fios 1000 a 500 m/kg e representam 28% do peso total, os outros 72% são fios de 120 a 199 kg/m.
- **Produto 3:** São 90% do peso em fios 1000 a 500 m/kg e 10% em fios de 199 a 120 kg/m.
- **Produto 4:** Trama e Urdume I são 42% do peso em fios de 1000 a 500 m/kg e 58% de 199 a 120 kg/m.
- **Produto 5:** Produto todo produzido com fios de 499 a 200 kg/m.
- **Produto 6:** Produto todo produzido com fios de 199 a 120 kg/m.
- **Produto 7:** Trama e Urdume I são 38% do peso em fios de 1000 a 500 m/kg e 62% de 199 a 120 kg/m.

Com base nessa análise, é possível determinar a restrição da produção com base na fiação como representado pelas equações (10), (11) e (12).

$$1,668x_1 + (2,354 \times 0,28)x_2 + (2,85 \times 0,42)x_4 + 3,593x_5 + (2,8969 \times 0,38)x_7 \leq 436,8 \quad (10)$$

$$(2,845 \times 0,9)x_3 \leq 420 \quad (11)$$

$$(2,354 \times 0,72)x_2 + (2,845 \times 0,1)x_3 + (2,85 \times 0,58)x_4 + 3,593x_6 + (2,869 \times 0,62)x_7 \leq 306 \quad (12)$$

Na inequação (10), pelo lado esquerdo tem-se definida a somatória do consumo em quilos de fios com títulos de 1000 a 500 kg/m. Essa soma não pode ultrapassar a capacidade máxima de 436,8 kg/h, representado no lado direito.

Na inequação (11), pelo lado esquerdo está definido o total a ser consumido em fios de 499 a 200 kg/m, que não deve ultrapassar 420 kg/h, como limitado no lado direito.

Na inequação (12), está definido na esquerda a somatória do consumo em quilos de fios com títulos de 199 até 120 kg/m. Essa soma não pode ultrapassar a capacidade máxima de 306 kg/h, representado no lado direito.

3.3.6 Restrição da Tecelagem

Deve-se ainda atender à restrição representada pela capacidade máxima em metros quadrados por hora para cada padronagem, considerando as velocidades de cada produto em metro por hora, a largura de 3m de cada rolo de tecido e as limitações dos teares, conforme apresentado na Tabela 5. Tem-se:

- **Produto 1:** Tem velocidade de produção de 8,2 m/h e pode apenas ser produzido nos teares A, B, C e D resultando em um limite de 98,4 m²/h.
- **Produto 2:** É produzido a uma velocidade de 9,5 m/h nos teares E, F, G, H, I e J em um total de 171,0 m²/h.
- **Produto 3:** Velocidade de 12,0 m/h a ser produzido nos teares E e J com no máximo 72 m²/h.
- **Produto 4:** Pode ser produzido a uma velocidade de 14,4 m/h e pode apenas ser produzido nos teares de E, F e J resultando em um limite de 129,6 m²/h.
- **Produto 5:** É produzido a uma velocidade de 17,5 m/h nos teares A, B, C e D em um total de 210,0 m²/h.
- **Produto 6:** Velocidade de 27,0 m/h a ser produzido nos teares A, B e C resultando no máximo 243,0 m²/h.
- **Produto 7:** É produzido a uma velocidade de 13,0 m/h nos teares A, B, C e D em um total de 156,0 m²/h.

Para atender à de tecelagem, a Função Objetivo está sujeita às seguintes restrições listadas nas inequações de (13) a (19):

$$x_1 \leq 98,4 \quad (13)$$

$$x_2 \leq 171,0 \quad (14)$$

$$x_3 \leq 72,0 \quad (15)$$

$$x_4 \leq 129,6 \quad (16)$$

$$x_5 \leq 210,0 \quad (17)$$

$$x_6 \leq 243,0 \quad (18)$$

$$x_7 \leq 156,0 \quad (19)$$

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados obtidos no capítulo 3 seguido da análise dos resultados.

4.1 OTIMIZANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS MAQUINÁRIOS

Para resolução do problema, foi utilizado o programa *Microsoft® Excel® 2013*, do *Microsoft Office Professional Plus 2013*. A ferramenta *Solver* foi habilitada.

Como descrito no programa, com ela é possível realizar testes de hipótese e encontrar um valor ideal de uma célula de destino alterando os valores nas células usadas para o cálculo da célula de destino.

Para isso, foram inseridos os dados referentes à função objetivo e restrições, buscando-se maximizar a produção de cada tipo de tapete em metros quadrados.

Uma solução foi encontrada satisfazendo todas as restrições e condições. Os valores obtidos com mostram que de forma organizada, existe a possibilidade de melhorar a distribuição da produção conforme os resultados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado final tecelagem

Produto	Capacidade (m²/h)	Resultado (m²/h)
1	98.4	98.4
2	171.0	76.5
3	72.0	72.0
4	129.6	36.0
5	210.0	68.3
6	243.0	9.0
7	156.0	36.0
TOTAL		396.2

Fonte: Autoria própria.

Dos 450 m²/h de capacidade disponíveis na tecelagem, o resultado apresenta utilização de apenas 396,2 m²/h. Com uma avaliação mais aprofundada dos resultados é possível identificar quais restrições impedem que a capacidade máxima seja utilizada.

A seguir serão verificados e comentados os resultados para cada tipo de produto. São eles:

- Pode-se concluir que a capacidade produtiva de 98,4 m²/h do produto 1 foi toda utilizada.
- Para o tapete de tipo 2, dos 171,0m²/h disponíveis, apenas 76,5 m²/h estão sendo utilizados.
- O artigo de tipo 3 tem toda a capacidade de 72,0 m²/h utilizada.
- Para o produto 4, dos 129,0 m²/h, a proposta é de utilizar 36 m²/h.
- O produto 5 teria 68,3 m²/h dos 210,0 m²/h disponíveis tomados.
- O produto 6 teria apenas 9,0 m²/h dos 243,0 m²/h disponíveis tomados.
- O artigo de tipo 3 tem 36,0 m²/h dos 156,0 m²/h utilizados.

Outro resultado encontrado é referente à utilização da fiação como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultado final fiação

Título máx. (m/kg)	Título mín. (m/kg)	Produção (kg/h)	Utilização (kg/h)
1000	500	436.8	436.8
499	200	420.0	184.0
199	120	306.0	306.0

Fonte: Autoria própria.

A capacidade produtiva dos fios de 1000 a 500 m/kg e 199 a 200 m/kg tem toda a sua capacidade utilizada, porém para fios de 499 a 200 tem capacidade subutilizada.

Para melhor aproveitamento dessa área, poderiam desenvolver produtos que utilizassem fios dessa linha, verificando sua aceitação no mercado e alocando produtos na tecelagem a fim de maximizar a utilização dos teares aproximando a capacidade máxima de 450 m²/h.

Outra sugestão seria o mesmo conceito apresentado no trabalho ao se desenvolver uma nova coleção de artigos realizando um novo estudo com os mesmos princípios do apresentado neste trabalho, com o intuito de realizar ajustes nos produtos com o fim de se maximizar a utilização do maquinário instalado.

5 CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi realizar um estudo específico de como otimizar o processo de fiação e tecelagem na produção de tapetes de fibras naturais, melhorando a utilização do maquinário instalado. Esse objetivo foi cumprido, validando a solução no modelo proposto.

Foi possível desenvolver uma nova ferramenta para potencializar a produtividade nesse tipo de indústria, implementando um método para tomada de decisão em atividades chaves, auxiliando a produção de tapetes acabados, com maior valor agregado. Com isso, obteve-se como benefício a minimização de gargalos e momentos de ociosidade, reduzindo desperdício em relação ao investimento feito nos maquinários.

Atualmente os estudos de *mix* de produto e utilização dos maquinário seguem a demanda e ordens de produção, sendo a produção distribuída de acordo com a disponibilidade dos maquinários, evidenciando a necessidade de se desenvolver um estudo prévio seguindo os conceitos apresentados no trabalho.

Uma das maiores dificuldades encontradas foi propor uma melhor distribuição respeitando o *mix* de produção já existente em uma produção em andamento, uma vez que o ideal é sempre mapear o sistema de estudo para identificar as variáveis no início da produção.

Esse trabalho introduz oportunidades de se realizar estudos em outros setores da fábrica, que podem também ser otimizados utilizando os métodos de programação linear.

REFERÊNCIAS

ANDRADE FILHO J. F. de ; SANTOS, L. F. dos. **Introdução à tecnologia têxtil**. Biblioteca Embrapa Algodão v. 3. Rio de Janeiro: CETIQT/SENAI, 1984.

FREDERICK S. Hillier; GERALD J. Lieberman. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora McGraw-Hill, 2010.

LACHTERMACHER, Gerson. **Pesquisa operacional da tomada de decisões**. 3. ed. São Paulo: Editora Campus. 2007.

SEBRAE, **Cadeia produtiva têxtil e de confecções**: Cenários econômicos e estudos setoriais. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE). Recife, 2008. Disponível em: <<http://189.39.124.147:8030/downloads/textil.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2019.

TONIOLLO, Michele; ZANCAN, Natália P; WÜST, Caroline. **Indústria têxtil: Sustentabilidade, impactos e minimização**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Porto Alegre, 23-26 nov. 2015. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2015/V-029.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2020.

WINSTON, Wayne L. **Operations research, applications and algorithm**. 3. ed. Belmont (CA): Duxbury Press, 1994.