

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALYPIO RORATO MANFIO RAMOS DE GÊNOVA

**ANÁLISE DE PROCESSOS DE PURGA ALCALINA E ENZIMÁTICA POR MEIO
DE PESQUISA OPERACIONAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

APUCARANA

2021

ALYPIO RORATO MANFIO RAMOS DE GÊNNOVA

**ANÁLISE DE PROCESSOS DE PURGA ALCALINA E ENZIMÁTICA POR MEIO
DE PESQUISA OPERACIONAL**

**Analysis of alkaline scouring and bioscouring processes through operational
research**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Têxtil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Dra. Caroline Apoloni Cionek

Coorientadora: Prof. Dra. Dayane Samara de Carvalho
Coltre

**APUCARANA
2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Apucarana



COENT – Coordenação do curso superior em Engenharia Têxtil

TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso:

ANÁLISE DE PROCESSOS DE PURGA ALCALINA E ENZIMÁTICA POR MEIO DE PESQUISA OPERACIONAL

Por

ALYPIO RORATO MANFIO RAMOS DE GÊNOVA

Monografia apresentada às 09:30 horas do dia 03 de dezembro de 2021, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Apucarana. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado(a) **APROVADO**.

PROFESSOR(A) CAROLINE APOLONI CIONEK – ORIENTADOR(A)

PROFESSOR (A) TAIS LARISSA DA SILVA – EXAMINADOR(A)

PROFESSOR(A) SAMIRA DA SILVA MENDES – EXAMINADOR(A)

*A Folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a minha mãe Ana Márcia e ao meu pai Carlos Alberto que sempre acreditaram no meu potencial e colaboraram para que meus objetivos fossem realizados com todo amor, carinho e paciência.

À minha família que se manteve presente ao longo da minha vida estudantil, fortalecendo-a com momentos de felicidade.

Aos meus amigos de escola e faculdade que estiveram ao meu lado e auxiliaram emocionalmente durante a criação do trabalho.

À minha orientadora, Profa. Dra. Caroline Apoloni Cionek pela confiança, correções e ensinamentos, disponibilidade e paciência em ajudar na realização do presente estudo.

À minha coorientadora, Profa. Dra. Dayane Samara de Carvalho Coltre pelas contribuições decisivas e disponibilidade em auxiliar durante o estudo.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dra. Tais Larissa da Silva e Profa. Dra. Samira da Silva Mendes por aceitarem fazer parte deste momento e pelos conselhos e indicações dados que serão de suma importância para a entrega do trabalho final.

GÊNOVA, Alypio Rorato Manfio Ramos de. **ANÁLISE DE PROCESSOS DE PURGA ALCALINA E ENZIMÁTICA POR MEIO DE PESQUISA OPERACIONAL**. 2021. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Têxtil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2021.

RESUMO

Os processos de beneficiamento primário têxtil permitem a eliminação de impurezas dos substratos têxteis, preparando-os para receber coloração. A purga, procedimento realizado no beneficiamento primário, faz a retirada de óleos, ceras, impurezas solúveis e partículas de sujeira, aumentando a hidrofiliabilidade do material e, conseqüentemente, sua qualidade. O presente trabalho objetiva comparar a qualidade e os custos processuais dos processos de purga alcalina e enzimática por meio dos modelos matemáticos de programação linear. A ferramenta utilizada pretende maximizar a quantidade de bens e serviços possibilitando o lucro máximo de uma companhia a partir de seus produtos disponíveis, por meio de programação linear, que usa a maximização do lucro ou a minimização dos custos da Pesquisa Operacional, a fim de encontrar uma solução “ótima”. Os modelos foram desenvolvidos por meio dos valores mínimos das variáveis nas receitas, dos dados tabelados pelas empresas fornecedoras dos produtos e, também, foram testados pelo método Simplex a partir das variáveis de controle, funções objetivo e restrições de cada processo. Os resultados dos mesmos foram analisados quanto a qualidade e aos custos por meio de testes de capilaridade e dos custos mínimos de receita, esses indicaram resultados vantajosos para o processo de purga enzimática.

Palavras-chave: Beneficiamento primário. Purga alcalina. Purga enzimática. Pesquisa Operacional. Programação linear.

GÊNOVA, Alypio Rorato Manfio Ramos de. **ANALYSIS OF ALKALINE SCOURING AND BIOSCOURING PROCESSES THROUGH OPERATIONAL RESEARCH.** 2021. 84 f. Course Completion Thesis (Bachelor of Textile Engineering) – Federal Technological University of Paraná, Apucarana, 2021.

ABSTRACT

The primary textile beneficiation processes allow the elimination of impurities from textile substrates, preparing them to receive color. The scouring, procedure performed in the primary beneficiation, remove oils, waxes, soluble impurities and dirt particles, increasing the hydrophilicity of the material and, consequently, its quality. The present work aims to compare the quality and procedural costs of alkaline and enzymatic scouring processes using mathematical models of linear programming. The tool used aims to maximize the quantity of goods and services enabling a company's maximum profit from its available products, through linear programming, which uses profit maximization or cost minimization of Operational Research, in order to find an "optimal" solution. The models were developed using the minimum values of the variables in the recipes, the data tabulated by the companies that supplies the products and were also tested using the Simplex method by the control variables, objective functions and restrictions of each process. Their results were analyzed regarding quality and costs through capillarity tests and minimum recipe costs, which indicated advantageous results for the enzymatic scouring process.

Keywords: Primary beneficiation. Alkaline scouring. Enzymatic scouring. Operational Research. Linear programming.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo simplificado da Cadeia Têxtil.....	17
Figura 2: Morfologia da fibra de algodão.....	18
Figura 3: Operações do beneficiamento têxtil.....	20
Figura 4: Mecanismo de saponificação.....	22
Figura 5: Tipos de emulsificação.....	22
Figura 6: Mecanismo chave-fechadura para enzimas.....	24
Figura 7: Esquema de fases da Pesquisa Operacional.....	28
Figura 8: Processo gráfico de purga alcalina.....	38
Figura 9: Processo gráfico de purga enzimática.....	39
Figura 10: Restrições para purga alcalina com fatores mínimos.....	62
Figura 11: Restrições para purga enzimática com fatores mínimos.....	65
Figura 12: Variáveis, função objetivo e restrições para purga alcalina no Excel.....	66
Figura 13: Parâmetros do Solver com as características da purga alcalina.....	67
Figura 14: Variáveis, função objetivo e restrições para purga enzimática no Excel.....	68
Figura 15: Parâmetros do Solver com características da purga enzimática.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do tecido.	36
Tabela 2: Procedimento de purga alcalina para artigo de algodão.	37
Tabela 3: Procedimento de purga enzimática para o artigo de algodão.	38
Tabela 4: Medidas, médias, desvios padrões e erros dos testes de capilaridade.	42
Tabela 5: Custo tabelado de água por m^3	44
Tabela 6: Custos TE e TUSD de energia elétrica por kWh.	50
Tabela 7: Restrições e suas descrições para o processo de purga alcalina com fatores mínimos.	61
Tabela 8: Restrições e suas descrições para o processo de purga enzimática com fatores mínimos.	64
Tabela 9: Solução do problema de purga alcalina proposta pela ferramenta Solver.	68
Tabela 10: Solução do problema de purga enzimática proposta pela ferramenta Solver.	70
Tabela 11: Comparação entre os processos para custo e quantidade mínima.	70

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
ABQCT	Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
LINDO	<i>Linear, Interactive and Discrete Optimizer</i>
NaOH	Hidróxido de Sódio
pH	Potencial Hidrogeniônico
PL	Programação Linear
PO	Pesquisa Operacional
SBV	Solução Básica Viável
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SESA	Secretaria da Saúde do Estado do Paraná
spm	Sobre Peso Material
SUS	Sistema Único de Saúde
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
TE	Tarifa de Consumo de Energia
TUSD	Tarifa de Uso de Sistema de Distribuição

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL	16
2.2 BENEFICIAMENTO TÊXTIL	18
2.2.1 Beneficiamento Têxtil Primário.....	20
2.3 PURGA.....	21
2.3.1 Purga Alcalina	23
2.3.2 Purga Enzimática.....	23
2.5 PESQUISA OPERACIONAL.....	26
2.5.1 Programação linear	29
2.5.2 Método Simplex	31
2.5.3 Aplicações de Pesquisa Operacional pelo Método Simplex.....	33
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
3. METODOLOGIA	36
3.1 MATERIAIS.....	36
3.2 PURGA ALCALINA	36
3.3 PURGA ENZIMÁTICA.....	38
3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	39
3.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS	40
3.6 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS MATEMÁTICOS NO SETOR DE BENEFICIAMENTO TÊXTIL.....	40
3.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 TESTE DE CAPILARIDADE	42
4.2 ANÁLISE DOS CUSTOS PROCESSUAIS.....	44
4.2.1 Custo da água.....	44
4.2.2 Custo da energia	49
4.2.3 Custo do hidróxido de sódio	56
4.2.4 Custo da enzima.....	58
4.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	59
4.3.1 Modelo matemático para purga alcalina.....	60

4.3.2 Modelo matemático para purga enzimática	63
4.4 MÉTODO SIMPLEX POR SOLVER	66
4.4.1 Método Simplex para purga alcalina com fatores mínimos	66
4.4.2 Método Simplex para purga enzimática com fatores mínimos.....	68
4.5 ANÁLISE DO CUSTO PROCESSUAL.....	70
5. CONCLUSÃO.....	72

1. INTRODUÇÃO

Segundo Rech (2008), o processo produtivo têxtil considera como seus estágios: a produção da matéria-prima que prepara as fibras; a fiação que produz os fios; a tecelagem, malharia e a tecnologia de não tecidos que produzem os tecidos por diferentes técnicas; o beneficiamento/acabamento que realiza procedimentos variados outorgando propriedades específicas ao produto; a confecção que elabora, cria, modela, enfesta, corta e costura as peças e o processo mercadológico que distribui e comercializa os produtos.

Um dos processos produtivos para a preparação de um têxtil é o beneficiamento têxtil, que consiste em um conjunto de processos aplicados aos materiais têxteis a partir do estado cru, objetivando transformá-los em artigos brancos, tintos, estampados e acabados (FREITAS, 2002). De acordo com Soares (2003), o beneficiamento primário têxtil realiza a eliminação de óleos, ceras, pigmentos, óleo de ensimagem, marcações e sujeiras adquiridas durante os processos de fiação e fabricação dos tecidos a partir de tratamentos no tecido. Esse preparo pode ocorrer por meio de procedimentos como desengomagem, purga, merceirização e alvejamento.

Dentre eles, a purga consiste em um processo que serve para eliminar cascas, matérias pécticas, ceras, graxas e óleos existentes nos substratos têxteis, em busca do aumento da hidrofiliabilidade do material. Podem ser aplicados em fios, tecidos planos e tecidos de malha de fibras celulósicas e suas misturas com fibras sintéticas (PEREIRA, 2009).

Os processos de beneficiamento primário têxtil, como a purga, são procedimentos que apresentam uma sequência de métodos e técnicas controlados que podem ser otimizados por meio do gerenciamento organizado da Pesquisa Operacional, que consiste em uma ciência aplicada que utiliza técnicas científicas conhecidas ou que devem ser desenvolvidas para ter como ponto de referência a aplicação do método científico. Os principais aspectos da Pesquisa Operacional são o amplo espectro de utilização como no governo, agências, indústrias, empresas comerciais e de serviço, a aplicação em problemas de coordenação de atividades em uma organização, a adoção de um enfoque sistêmico e uma solução “ótima” para os problemas (MARINS, 2011).

Por meio da Pesquisa Operacional, é possível a aplicação da programação linear, o qual é um método que envolve o planejamento de atividades para a obtenção de um resultado ótimo, tendo em vista que o desfecho seja atingir o melhor objetivo especificado entre todas as alternativas viáveis (HILLIER; LIEBERMAN, 2013). Após a obtenção do modelo matemático de programação linear, levando em consideração as variáveis que influenciarão no processo, é possível fazer a resolução do modelo pelo Simplex. Esse procedimento algébrico iterativo que advém de uma solução básica factível inicial busca a cada iteração uma nova solução básica factível com o melhor valor na função objetivo até atingir o valor ótimo (BELFIORE; FÁVERO, 2013).

O objeto de estudo deste trabalho é o desenvolvimento de modelos matemáticos de programação linear para os processos de purga alcalina e a enzimática, visando a redução das quantidades de produtos nas receitas e a análise de qual processo apresenta a maior redução de custo.

1.1 JUSTIFICATIVA

A engenharia de produção tem como uma de suas áreas, a Pesquisa Operacional, que pode proporcionar aos profissionais que possuem acesso ao seu escopo, um procedimento organizado e consistente que facilitará o difícil procedimento de gerir recursos humanos, materiais e financeiros de uma organização. A Pesquisa Operacional apresenta uma diversidade de áreas, modelos e algoritmos complexos que permitem a tomada de decisão em problemas complexos por meio da aplicação da ótica científica (MARINS, 2011).

Neste trabalho, a técnica da pesquisa operacional, a partir de tomadas de decisão e do controle organizado de procedimentos, será aplicada a processos de purga alcalina e enzimática por meio do método Simplex, tendo em vista a minimização dos recursos utilizados para o preparo das receitas ou a maximização do lucro das mesmas. Em escala industrial, nota-se a busca por melhorias de processo e redução de custos, fatores essenciais para o desenvolvimento fabril, sendo assim, a manutenção das receitas pode implicar em aumentos produtivos em relação à economia de insumos e a lucratividade com menores índices de uso de matéria-prima.

Segundo Hillier e Lieberman (2001), os resultados de pesquisas operacionais realizadas em empresas apresentam uma redução de custos entre 1% a 5%, com casos especiais que chegam a melhorias de até 15%, considerando estes resultados em que os custos de produção chegam à ordem de milhões de reais anuais, os percentuais apresentam uma economia de grandes dimensões.

Analisando as vantagens do uso de pesquisas operacionais em diversas áreas como, por exemplo, o setor empresarial, torna-se notório a possibilidade de aplicação da mesma em receitas de beneficiamento têxtil. Em caso de resultados positivos para a pesquisa, o estudo pode começar a ser ampliado para outras áreas do beneficiamento primário têxtil e, futuramente, para outros setores industriais têxteis em busca de solucionar os problemas de receitas propostas, assim como a redução de custos processuais, mantendo a qualidade final do produto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar os quesitos de qualidade e custos processuais para os processos de purga alcalina e enzimática por meio de modelos matemáticos de programação linear.

1.2.2 Objetivos Específicos

Pretende-se atingir o objetivo geral a partir dos seguintes objetivos específicos:

- Realizar o teste de capilaridade nas amostras que utilizadas nos processos alcalino e enzimático;
- Identificar as variáveis dos processos de purga alcalina e enzimática, assim como as etapas para o desenvolvimento de um modelo matemático de pesquisa operacional no setor de beneficiamento;

- Fazer um levantamento das variáveis dos processos de purga alcalina e enzimática em tecidos de algodão, bem como os custos das mesmas no processo;
- Desenvolver um modelo matemático de programação linear que represente o processo de beneficiamento;
- Aplicar os cálculos a partir dos levantamentos de custos realizados;

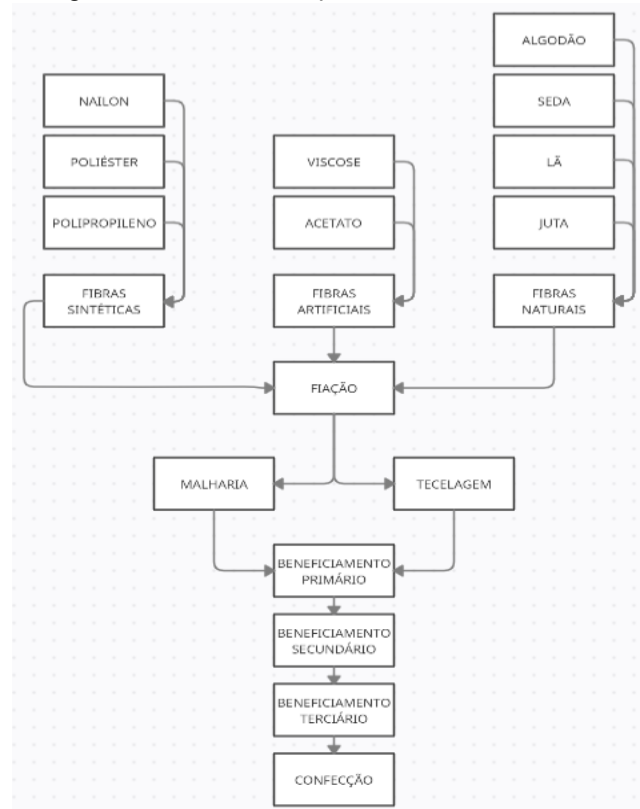
2. REFERENCIAL TÉORICO

2.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

De acordo com Abit (2021), durante o período de fevereiro de 2021, o comércio exterior brasileiro no setor têxtil e de confecção movimentou em torno de 69 milhões em exportações e 435 milhões em importações. Segundo Andraus (2010), tanto a economia brasileira como a mundial são representadas grandemente por suas industriais têxteis, sendo que estas estão em busca constante por processos com maior eficiência, economia e de forma mais ecológica possível.

A produção na indústria têxtil pode ser analisada a partir de um processo sequencial, na qual suas etapas se articulam de forma mecânica. A indústria têxtil é organizada de forma complexa, envolvendo as etapas de produção de fibras, fiação, tecelagem, beneficiamento e confecção, sendo que a matéria-prima a ser utilizada define os processos produtivos com máquinas e equipamentos específicos com combinações variadas na produção de uma mesma planta industrial ou em várias unidades fabris (RANGEL; SILVA; COSTA, 2010). Na Figura 1 é apresentado o processo de produção têxtil simplificado, assim como suas etapas.

Figura 1: Processo simplificado da Cadeia Têxtil.

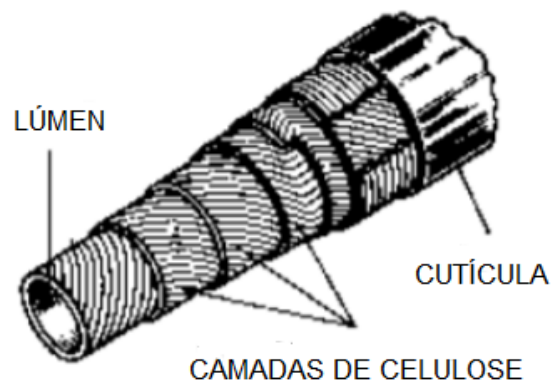


Fonte: adaptado de IEL (2000, p. 21).

De acordo com Vezzà e Cotait (2006), as fibras têxteis podem ser divididas em: naturais, aquelas encontradas na natureza como o algodão, e as fibras químicas que são obtidas pelos processos industriais. Estas, ainda podem ser subdivididas em artificiais, obtidas por processos que utilizam polímero natural, e em sintéticas que utilizam polímeros sintetizados a partir de produtos petroquímicos de primeira geração.

Segundo Costa, Lima e Rosa (2013), o algodão, fibra natural, é praticamente composto por camadas de celulose, lúmen e cutícula como pode ser observado na Figura 2, sendo insolúvel em água e com alta massa molecular, podendo ser considerado a principal fibra têxtil da humanidade. Para processos químicos, o algodão tem alta resistência aos álcalis e a ácidos fracos, sendo que os ácidos fortes o destroem.

Figura 2: Morfologia da fibra de algodão.



Fonte: Moraes (2010).

As ceras do algodão, pertencentes a cutícula da fibra, são responsáveis pela lenta absorção de água pela fibra, o que pode ser verificado na extração destas, resultando em rápida absorção de água (GONDIM, 1989). O conhecimento das composições químicas das fibras é importante, já que estas influenciam diretamente nos processos de beneficiamento têxtil (CHEREM, 2004).

Ao longo dos anos, a produção e o consumo da fibra de algodão obtiveram crescimentos em seus índices, segundo Coêlho (2018), a temporada 2017/ 2018 para a safra de algodão apresentou um aumento de 2% no consumo mundial, 26,82 milhões de toneladas para 27,35 milhões de toneladas, já a produção mundial de algodão apresentou uma redução de 4%, 26,93 milhões de toneladas para 25,85 milhões de toneladas.

2.2 BENEFICIAMENTO TÊXTIL

O conjunto de atividades que ao serem aplicadas aos substratos têxteis e que geram características técnicas e estéticas, e agregam valor ao material são denominadas como beneficiamento têxtil. Este mesmo setor, também pode ser compreendido como o setor que cuida do enobrecimento dos substratos têxteis (SALEM, 2005). Os produtos químicos, extremamente essenciais nessa etapa produtiva, quando aplicados aos têxteis são responsáveis pelo desempenho e pela variedade dos resultados obtidos no beneficiamento têxtil (MOORE; AUSLEY, 2004).

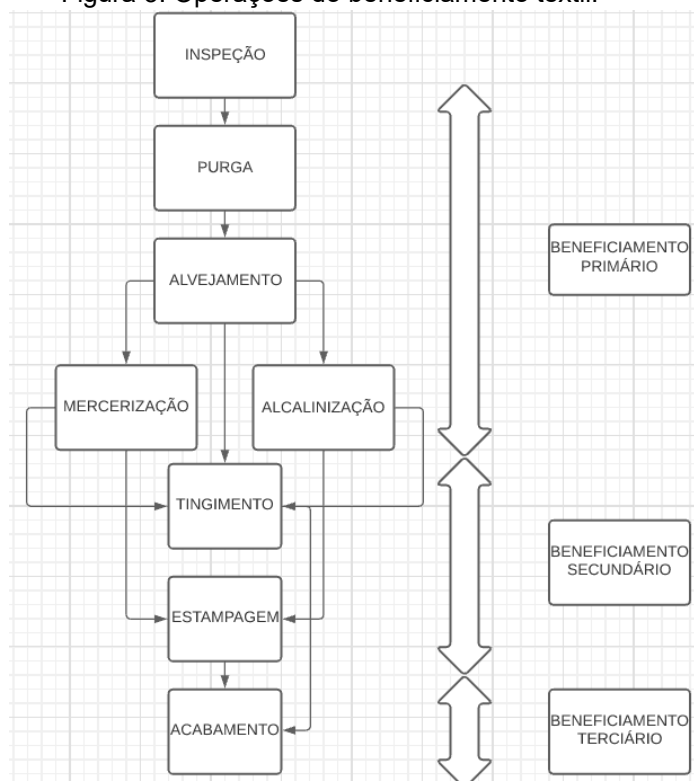
Segundo Salim (2017), o beneficiamento têxtil pode ser dividido em três etapas, cada uma com sua especificidade:

- **Beneficiamento primário:** é toda operação que pode preparar os substratos para receber coloração, ou seja, realiza o preparo do tecido para receber o tingimento, estamparia e/ou o acabamento;
- **Beneficiamento secundário:** é a coloração total (tingimento) ou parcial (estamparia);
- **Beneficiamento terciário:** é o processo que transforma as características físico-químicas do substrato, posteriormente ao tingimento e/ou estamparia, em busca de um acabamento de qualidade solicitada pelo consumidor.

Na Figura 3 são apresentadas as etapas de beneficiamento e como elas são classificadas, o beneficiamento primário com os processos de navalhagem, chamuscagem, desengomagem, alveamento e purga, o beneficiamento secundário com o tingimento e a estamparia e beneficiamento terciário com calandragem, flanelagem, lixamento, amaciamento, impermeabilidade, anti-chama, anti-ruga e repelência a água.

É preciso mencionar que nem sempre os processos são realizados na sequência apresentada, variando a ordem dos mesmos conforme a disponibilidade de maquinários ou os tipos de efeitos desejados, não só em tecidos, mas também em fios (ARAÚJO; CASTRO, 1987) e, também, a importância dos processos de beneficiamento têxtil para a melhora da qualidade físico-químicas dos têxteis. O presente estudo terá ênfase no beneficiamento primário, ou seja, no preparo do têxtil para os processos posteriores.

Figura 3: Operações do beneficiamento têxtil.



Fonte: adaptado de Leão (2002).

2.2.1 Beneficiamento Têxtil Primário

O beneficiamento primário é o agregado de processos físicos, químicos e bioquímicos que visam a eliminação de impurezas dos substratos têxteis a fim de prepará-los para processos posteriores, seja tingimento e/ou estamparia (SENAI, 2015). De acordo com Silva (2019), os processos a serem realizados nos substratos podem ser divididos em operações à seco (navalhagem e chamuscagem) e a úmido (desengomagem, purga e alvejamento). Abaixo segue a descrição de cada um dos processos referentes a fibra de algodão.

- **Navalhagem:** é a operação que retira pontas de fibras salientes na superfície do tecido por meio do corte. A ponta da fibra se não retirada pode causar toque áspero, influenciando na qualidade dos produtos estampados (PEZZOLO, 2009).
- **Chamuscagem:** é o processo que objetiva a eliminação das fibrilas da superfície do substrato têxtil por meio de queima, proporcionando uma superfície mais limpa e com melhor qualidade (BASTIAN, 2009).

- **Desengomagem:** é o processo que visa a remoção da goma, tornando o material mais absorvente. Esta operação depende da escolha da formulação da engomagem. Se usados somente produtos solúveis em água, é realizada uma simples lavagem do tecido com tensoativos, caso a goma tiver base de amido, o mesmo deve ser destruído por oxidação com peróxido ou atacada por enzimas (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996).
- **Alveamento:** é a operação realizada quando se deseja obter tecidos de coloração branca, clara ou média ou cores mais intensas, porém limpas. Isso ocorre com a finalidade de branquear o tecido por meio da remoção de impurezas, como óleos ou graxas, resinas, substâncias proteicas e pigmentos (DAS et al., 2016).
- **Purga:** é o processo que retira óleos, ceras, impurezas solúveis e partículas de sujeira com a intenção de melhorar a característica de molhabilidade da fibra, além de aprimorar a pureza da celulose presente na fibra de algodão (CHOUDHURY et al., 2011).

2.3 PURGA

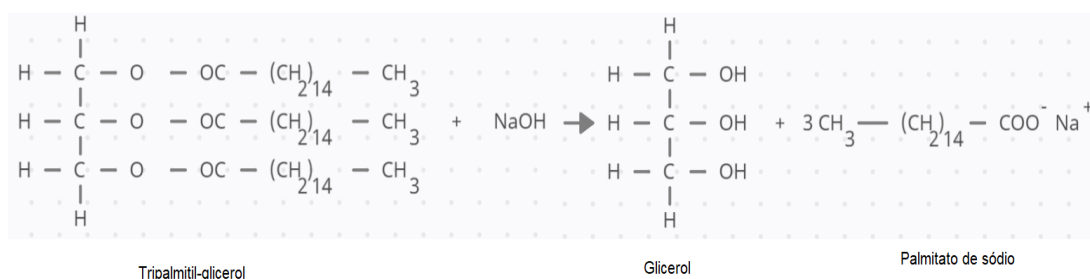
O objetivo do processo de purga é a retirada das impurezas naturais como óleos, gorduras e lubrificantes por meio de um procedimento realizado a quente com auxílio de álcalis e tensoativos, acarretando em uma perda de peso de 3% a 7%, dependendo das condições de lavagem e a quantidade de impurezas. Posteriormente à purga, o substrato deve ser submetido a lavagens a quente e a frio a fim de retirar o álcali residual. Este beneficiamento primário torna a fibra mais absorvente, melhorando a eficácia dos tratamentos subsequentes (IMMICH, 2006).

A purga pode ser dividida em alcalina e em enzimática, sendo realizada tanto em materiais naturais como em sintéticos. Dependendo do material a ser utilizado, a intensidade do processo deve variar (FACCIOLI et al., 2020). Segundo ABQCT (2019), as impurezas podem ser retiradas de três maneiras, as quais são:

- **Por dissolução:** as impurezas solúveis em água presentes no substrato são dissolvidas.

- Por saponificação:** óleos e gorduras fixados por meio de ligação química e aderência são transformados em sabão para serem eliminados. Esse processo ocorre pela combinação de calor com a presença de álcalis mais a ação mecânica que permitirá a saponificação e seu desprendimento, necessitando do afastamento das impurezas do substrato por meio de formação de suspensão, a Figura 4 apresenta a reação de saponificação.

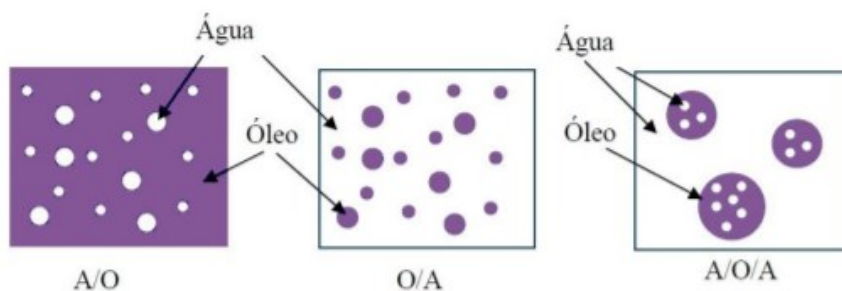
Figura 4: Mecanismo de saponificação.



Fonte: adaptado de Carvalho (2013).

- Por emulsificação:** óleos e graxas que se misturam com água são eliminados por meio de detergentes. As impurezas são solubilizadas em água com o uso de tensoativos que formam compostos solúveis, as impurezas devem se manter afastadas do substrato por meio da formação de suspensão, a Figura 5 apresenta os tipos de emulsificação que podem ser formados como óleo em água (O/A), água em óleo (A/O) e emulsões múltiplas (A/O/A ou O/A/O)

Figura 5: Tipos de emulsificação.



Fonte: adaptado de Santos (2011).

2.3.1 Purga Alcalina

O processo de purga alcalina deve ser realizado quando se deseja obter um substrato têxtil com maior hidrofiliidade e menores índices de impurezas, sendo que o mesmo ocorre por meio do tratamento do fio/tecido com hidróxido de sódio (NaOH) em altas temperaturas, aproximadamente de 70 a 90 °C. Por fim, o artigo deve ser tratado a partir de um enxague a quente e a frio e uma neutralização com base em um grande volume de água no processo (TAVČER, 2011).

Segundo Freitas (2009), a purga alcalina, quando realizada sob pressão eleva sua temperatura de processo, remove a hemicelulose e os produtos que se encontram na parede primária da fibra, como ceras, pectinas e proteínas, sendo saponificados ou degradados até sua solubilidade em água, posteriormente emulsionados e dispersos. Ao término do processo de purga, a fibra encontra-se limpa, com capacidade de absorção e com possíveis danos oxidativos graças aos rigorosos pH e temperatura requeridos pela purga.

Independentemente de características como a eficácia da lavagem alcalina e do baixo custo do hidróxido de sódio, o processo é considerado de alto custo pelas grandes quantidades de energia, água e agentes auxiliares utilizados durante o procedimento (MOJSOV, 2012). No entanto, o processo de purga alcalina quando avaliado em relação a qualidade, apresenta resultados positivos para branqueamento do têxtil.

Conforme Sornas (2018), o procedimento de purga alcalina realizado em uma fita de carda de algodão cru em conjunto com um alvejamento e uma caustificação, apresentou uma fibra sem impurezas e branca assim como uma grande afinidade com a água. Essa fibra processada quando utilizada com nanocristais de celulose demonstram mudanças quanto ao formato, cristalinidade, estabilidade térmica e dimensão possibilitando novas aplicações por meio de seu menor tamanho e estabilidade.

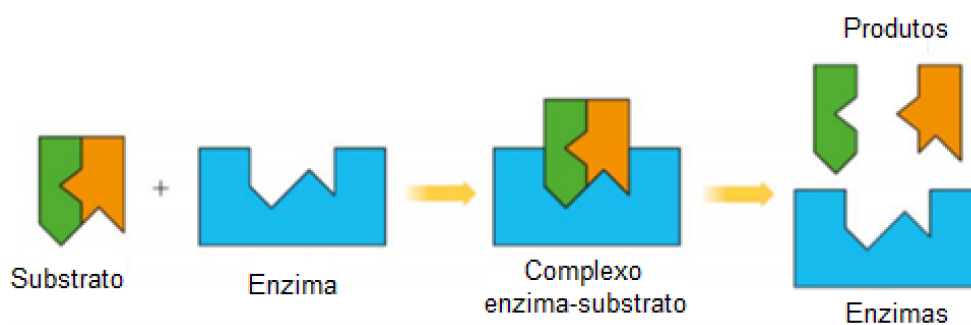
2.3.2 Purga Enzimática

Purga enzimática ou biopurga busca atingir especificamente as impurezas não celulósicas por meio de enzimas específicas, como as

pectinases, que são usadas para decompor substâncias pécnicas, as proteases para as proteínas e lipases para as gorduras. As enzimas devem ser escolhidas de acordo com as características do tratamento requerido (pH, temperatura e tempo) e qualidade do produto final (HOONDAL et al., 2002).

As enzimas são definidas como proteínas que assumem a função de biocatalisadores, estas possuem as características de alta capacidade catalítica e seletividade específica sobre cada substrato (CALADO; DILLON; SALGUEIRO, 2007). Conforme Medeiros *et al.* (2013), a alta seletividade específica se trata da enzima catalisar um único substrato ou somente uma classe de moléculas, permitindo a comparação com o mecanismo chave-fechadura como mostrado na Figura 6.

Figura 6: Mecanismo chave-fechadura para enzimas.



Fonte: Canto (2016).

As enzimas que mais se adequam em eficácia e qualidade para a biopurga de algodão são as pectinases, devido à degradação e eliminação de pectinas, sendo que ao serem dispostas em condições de processo adequadas de incubação, as ceras soltas se tornam mais fáceis de serem removidas, garantindo a melhor absorção dos materiais têxteis e não causando ataque à celulose (KALANTZI et al., 2008). As pectinas, ceras e agentes de goma, quando removidas do algodão cru por meio do uso de pectinases com auxílio de lipases e hemicelulases em condições ótimas de processo, geram produtos de alta qualidade para posterior passagem pelo tingimento e um processo de tecelagem com menores índices de consumo de energia (UENOJO; PASTORE, 2007).

As pectinases possuem diversas atuações dentro da indústria têxtil. Como por exemplo, degradação da camada de pectina das fibras de celulose

possibilitando um processamento posterior, tratamento de resíduo líquido, degomagem de fibras naturais, maceração de fibras vegetais (juta, linho e cânhamo) e polimento enzimático de tecidos mistos de juta e algodão (MONTEIRO; SILVA, 2009).

As lipases são consideradas biocatalisadores, envolvendo reações de hidrólise de óleos, esterificação, transesterificação e lactonização, possibilitando suas diversas aplicações (GANDHI, 1997).

O procedimento de purga enzimática deve ser feito com condições de processo (pH e temperatura) determinadas pelo tipo de enzima escolhida, fazendo com que ao final do processo, a fibra de algodão possua sua celulose praticamente intacta com menor perda de massa e maior resistência em relação a purga convencional (MANGOVSKA et al., 2004).

O processo de biopurga resulta em têxteis mais macios do que os que passam pelo processo de purga convencional, no entanto, o grau de brancura é frequentemente menor e o procedimento também não é recomendado para a remoção adequada de fragmentos e ciscos da semente (CAVACO-PAULO; GUBITZ, 2003). De acordo com índices comparativos entre os tipos de purgas, torna-se necessário para o presente estudo, a comparação entre as mesmas por resultados de capilaridade e custo processual.

Segundo Silva (2019), os processos de purga alcalina e purga enzimática quando comparados em relação aos fatores de tempo, temperatura e concentração, nota-se que o processo alcalino apresenta desvantagens nos resultados de capilaridade. Da mesma forma que seu maior uso de produtos químicos e seu maior tempo de processo total, aumentando os custos finais do processo.

O estudo de Pimentel (2010), apresenta dois processos de purga enzimática, um com adição de sequestrantes no início do processo e outro com a mesma adição após 30 minutos de processo enzimático e, para fins comparativos, foi realizado uma purga alcalina. Após os procedimentos, notou-se que ao utilizar o agente sequestrante no início do processo de biopurga, os resultados foram mais viáveis do que ao inserir o sequestrante durante o processo pelo fato de reduzir o tempo de tratamento e pela praticidade da adição em conjunto dos produtos. Verificou-se também que o processo de purga enzimática é tão eficaz quanto o de purga alcalina, podendo gerar vantagens

como a não degradação das fibras, a não cooperação para a poluição dos efluentes e a redução de energia gasta.

2.4 CAPILARIDADE

De acordo com Azevedo (2013), a capilaridade é percebida quando um líquido realiza contato com uma superfície sólida, gerando duas forças com sentidos contrários (adesão e coesão). A adesão ocorre pela atração do líquido pelas moléculas do sólido, já a coesão ocorre pelo próprio líquido, atuando no sentido contrário do mesmo. Ao se obter uma força de adesão maior que a de coesão, uma concavidade se apresenta no menisco e o sólido será molhado pelo líquido, no entanto, quando a força de coesão for maior que a de adesão, um ângulo convexo se apresenta no menisco e o sólido não será molhado pelo líquido.

Da mesma forma para Santana e Aleixo (2017), quando o líquido entra em contato com o sólido, criando curvas de contato entre a água e o gás presente nos poros, sendo que essas geram pressão capilar, atividade que indica a quantidade de água absorvida pelos poros. A relação entre a quantidade de água absorvida e a pressão capilar torna-se dependente da variação de tamanho dos raios dos poros provenientes de determinado têxtil.

2.5 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional é considerada uma ciência aplicada que, por meio do uso de técnicas científicas conhecidas ou do desenvolvimento de uma técnica quando necessário, busca aplicação do método científico a partir de um ponto de referência (MARINS, 2011).

Segundo Rabenschlag (2005), o conceito de Pesquisa Operacional está baseado no uso de métodos científicos para fornecer elementos quantitativos aos departamentos executivos de forma que ocorra a tomada de decisões respeitando as operações que estão em seu controle. As principais características deste processo são:

- Orientação para sistemas: em sistemas organizados, o comportamento de qualquer membro afeta o todo em si, sendo assim, o problema de

todos deve ser analisado por todos os ângulos em busca de uma solução favorável ao todo.

- Emprego de equipes interdisciplinares: realização de análise e avaliação dos problemas de acordo com o maior número de pontos de vista possível;
- Aplicação do método científico a problemas de controle.

O objetivo geral da Pesquisa Operacional é de descobrir regularidade em fenômenos e ligar a mesma em outros conhecimentos, para que os fenômenos possam ser modificados ou controlados. O escopo da Pesquisa Operacional não apresenta limitação de técnicas e instrumentos para a solução de problemas como um todo. Se o problema pode ser resolvido somente por princípios e técnicas de engenharia, o problema é de engenharia, não de Pesquisa Operacional (BORGES, 2002).

Conforme Mello e Mello (2003), a palavra otimização era quase que um sinônimo para Pesquisa Operacional, sendo assim, otimizar é uma atividade que busca maximizar a quantidade de bens e serviços adquiridos com o salário, lucrar o máximo possível para a empresa que se trabalha com os recursos disponíveis ou reduzir ao máximo os custos operacionais. De acordo com Lisboa (2002), as principais fases de um estudo de Pesquisa Operacional são:

1. **Definição do problema:** é baseada na descrição exata dos objetivos de estudo (concepção do modelo), identificação das alternativas de decisão existentes e reconhecimento das limitações, restrições e exigências do sistema.
2. **Construção do modelo matemático:** a qualidade da solução depende da escolha adequada do modelo. Caso o modelo tenha forma conhecida, a solução pode ser obtida por métodos matemáticos convencionais, no entanto, se o modelo utilizar relações matemáticas complexas, pode ser necessário o uso de combinação de metodologias.
3. **Solução do modelo matemático:** a terceira fase busca encontrar uma solução para o modelo proposto por meio de técnicas matemáticas existentes. Em um modelo matemático, a solução “ótima” é obtida pelo algoritmo mais adequado, em termos de rapidez de processamento e precisão da resposta.

- 4. Validação do modelo matemático:** é realizada a verificação da validade do modelo, o mesmo é válido se for capaz de fornecer uma previsão aceitável do comportamento do sistema. A validação de um sistema pode ocorrer por meio da análise de desempenho com dados passados do mesmo e verificar se a reprodução de comportamento é a mesma ao que o sistema apresentou. O processo de validação não é aplicado a sistemas não existentes, para este tipo de sistema, a validação deve acontecer pela correspondência entre os resultados obtidos e o comportamento esperado do sistema.
- 5. Implementação da solução:** posterior à avaliação da solução obtida, a mesma deve ser transformada em regras operacionais. É considerada uma das fases críticas, já que necessita de alteração de uma situação existente, logo, uma equipe responsável deve ser requisitada para o controle. A equipe também será encarregada de agir nas correções das relações funcionais do modelo em conjunto com os possíveis cursos de ação, podendo ocorrer a reformulação do modelo.

Na Figura 7 são apresentadas as fases da Pesquisa Operacional, assim como suas variações de sequência produtiva em caso de não validação do modelo.

Figura 7: Esquema de fases da Pesquisa Operacional.



Fonte: adaptado de Marins (2009).

O uso das técnicas de Pesquisa Operacional pode ser defendido pelo desejo de evidenciar e tornar mais amplo os estudos realizados na área,

conhecendo o ambiente competitivo advindo da globalização, no qual a utilização de recursos se torna de suma importância para providenciar a garantia de eficiência e viabilidade do investimento e aplicações de métodos matemáticos que minimizem riscos e incertezas nas decisões provenientes dos administradores (SANTOS; SOUZA; MORAIS, 2008).

Segundo Borges (2002), a Pesquisa Operacional tem suas técnicas mais empregadas divididas em sete categorias, sendo estas:

1. Programação linear (problemas de programação linear, programação linear inteira, problemas de transporte, de transbordo, de designação e de alocação de recursos);
2. Análise de redes (problemas de árvore geradora mínima, caminho mais curto e fluxo máximo);
3. Teoria dos Estoques;
4. Teoria das Filas;
5. Simulação de Sistemas;
6. Teoria dos Jogos;
7. Programação Dinâmica (problemas recorrentes à Teoria da Decisão e Teoria da Utilidade).

O presente estudo utiliza a técnica de programação linear, buscando o desenvolvimento de modelos matemáticos visando a minimização das quantidades de produtos utilizados nos processos de purga alcalina e enzimática.

2.5.1 Programação linear

Estudos estatísticos demonstram que a programação linear (PL) é uma das técnicas mais utilizadas da pesquisa operacional, sendo que suas aplicações estão presentes em rotinas diárias de planejamento das empresas, tanto em equipes de planejamento sofisticadas como as que adquiriram um *software* para alguma função de planejamento (PRADO, 2016).

Esta ferramenta se concretizou no estudo de gestão, a partir de problemas de organização de transportes, determinação de política de estoques,

estudos de fluxo de caixa e investimentos, estudos de sistemas de informação, de produção e de mistura de componentes (ANDRADE, 2002).

A programação linear tem como base a resolução de problemas de maximização (lucro) ou minimização (custo) de algum objetivo por meio do atendimento de um conjunto de restrições. Certa parte da modelagem do problema resulta na obtenção de uma solução “ótima”, na qual as variáveis são reais (LOESCH; HEIN, 2009).

Na modelagem da técnica de Pesquisa Operacional, devem ser estabelecidas as variáveis do problema, ou seja, tudo o que se deseja saber o valor exato e que se pode controlar. A função objetivo deve esclarecer se deseja maximizar ou minimizar em função das variáveis dos problemas, garantindo a medida de desempenho do sistema. As restrições também devem ser analisadas, sendo essas expressas em função das variáveis do problema, limitando as combinações de variáveis em certos limites (CAVALCANTE; SANTOS, 2019).

Segundo Medri (2003), a formulação matemática de um problema na técnica de programação linear pode ser realizada de acordo com as Equações 1 e 2:

$$\text{Max } Z = \left| \sum_{j=1}^n c_j x_j \right|$$

$$\text{s. a.: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \text{para } i = 1, 2, \dots, m \text{ e para } j = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{e } x_j \geq 0$$

$$\text{Max } Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad \text{Equação (1)}$$

$$\text{s. a.: } a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1 \quad \text{Equação (2)}$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq b_2$$

.....

$$a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \geq \leq 0$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Em que:

Z = função a ser maximizada ou minimizada;

x_j = número de unidades do produto j produzidas durante um período de tempo;

c_j = aumento no lucro Z pelo aumento de uma unidade x_j ;

a_{ij} = quantidade de recurso i consumida na produção de uma unidade de atividade j ;

b_j = quantidade de recurso i disponível no período para as n atividades.

(1) é a função objetivo do problema, podendo maximizar ou minimizar a função.

(2) são funções que demonstram as restrições identificadas do problema proposto.

Para Lachtermacher (2009), a programação linear possui diferentes terminologias para a solução de modelos, sendo estas:

- **Solução:** é a especificação de valores dentro da Função Objetivo, $f(x)$, para as variáveis de decisão sem considerar se a solução é desejável ou permissível;
- **Solução viável:** solução na qual todas as restrições são atendidas.
- **Solução ótima:** é a solução que mais se adequa à Função Objetivo, podendo ser de maximização ou de minimização, única ou não.

De acordo com Prado (2016), as vantagens da programação linear são a identificação de gargalos nas linhas de produção, o fornecimento de diretrizes para a expansão, a avaliação do potencial de aplicabilidade de uma pesquisa para aprofundar o entendimento do problema e a identificação das melhores opções em estudos de qualidade total.

Qualquer problema no qual o modelo matemático se encaixe em um formato genérico para o modelo de programação linear, é um problema de programação linear. Para solucionar com extrema eficácia os problemas de programação linear, o Método Simplex se apresenta como procedimento de solução para problemas de programação linear de enormes dimensões (HILLIER, LIEBERMAN, 2013).

2.5.2 Método Simplex

O método Simplex é um procedimento de matrizes que atravessa os pontos extremos do conjunto das soluções viáveis em busca de uma solução

ótima. O algoritmo usa um critério na busca de forma que a solução seguinte seja sempre melhor do que a anterior, sabendo que o conjunto possui um número exato de pontos extremos, o algoritmo terminará em algum ponto, que será a solução ótima do problema (SCHNEIDER, 2013).

De acordo com Mansilha et al. (2017), para o método Simplex ser utilizado na solução de problemas de programação linear, é necessário que o mesmo esteja escrito na forma padrão, descritas pelas Equações 3 e 4:

$$\text{Max / Min } Z = Cx \quad \text{Equação (3)}$$

Sujeitos as restrições:

$$Ax = b \quad \text{Equação (4)}$$

$$x \geq 0$$

$$b \geq 0$$

Uma inequação pode ser convertida em uma equação por meio de duas variáveis: a de folga (transformar inequações do tipo “ \leq ” em “ $=$ ”) e a de excesso (transformar inequações do tipo “ \geq ” em “ $=$ ”).

Para Hillier e Lieberman (2013), a primeira etapa na configuração do método Simplex é converter as restrições funcionais de desigualdade em restrições de igualdade equivalentes por meio da inclusão das variáveis de folga. Já as restrições de não negatividade devem ser mantidas como desigualdades e tratadas posteriormente.

Em segunda instância, o Quadro Simplex deve ser montado a partir dos coeficientes de todas variáveis com os sinais da função objetivo, as variáveis nas equações e os termos independentes. Em seguida, deve ser realizada a troca de base por meio da entrada de uma variável e a saída de outra, posteriormente, o processo de pivoteamento ocorre pela obtenção da matriz dos coeficientes das variáveis básicas como uma matriz identidade e, por fim, é realizada a verificação da otimalidade (RABENSCHLAG, 2005).

Segundo Passos (2009), o algoritmo do método Simplex é iterativo, ou seja, é um processo de resolução de um problema por meio de uma sequência de operações em que o objeto de cada operação é o resultado da que a precede.

O algoritmo pode ser resumido a partir de uma sequência de quatro passos, sendo estes:

- **Passo 1:** determinar uma solução básica viável (SBV) inicial;
- **Passo 2:** aplicar o teste de otimalidade. Se a solução for ótima, deve-se parar e caso não for, determinar uma variável não básica para entrar na base;
- **Passo 3:** aplicar o teste da razão para determinar qual variável básica deve sair da base;
- **Passo 4:** encontrar uma nova solução básica viável e retornar para o segundo passo.

Apesar do método Simplex permitir que as soluções dos problemas possam ser realizadas sem o auxílio de recursos computacionais, sua natureza iterativa o torna muito repetitivo. Sendo assim, ao analisar problemas com inúmeras variáveis de decisão e/ou várias restrições, o auxílio de métodos computacionais são fundamentais. Logo, o uso computacional possibilita a solução de problemas de programação linear de forma poderosa e com custo relativamente baixo (LOURENÇO *et al.*, 2014).

2.5.3 Aplicações de Pesquisa Operacional pelo Método Simplex

A Pesquisa Operacional e suas técnicas vêm sendo aplicadas cada vez mais a setores industriais, tendo em vista a otimização de processos, a melhoria da produtividade das pequenas e grandes empresas e a rapidez na resolução de problemas por tomadas de decisão.

De acordo com Bruns, Soncim e Sinay (2001), a Pesquisa Operacional foi aplicada a uma loja de departamentos com aproximadamente 26 postos de atendimento com o objetivo de avaliar os parâmetros de efetividade do sistema de filas por meio do método da teoria das filas. Ao final do estudo, notou-se que o uso da técnica da Pesquisa Operacional teve relevância ao avaliar a operacionalidade de um sistema, além de conceber a ideia de conciliação de três componentes de processo em busca de um resultado final.

Em outro estudo desenvolvido por Barboza, Carnieri, Steiner e Siqueira (2003), uma central de atendimento 24 horas necessitava de uma solução para

a elaboração e designação de suas jornadas de trabalho, para tal, foi proposta a combinação da programação inteira com o algoritmo do *Matching* de peso máximo e um simulador da central telefônica. Por fim, foi observada uma rapidez na construção e designação de horários aos atendentes e, também, na diminuição de custos, no aumento do faturamento, na eficácia do atendimento e na maior satisfação dos funcionários com seus horários de trabalho.

Segundo Scarpin *et al.* (2007), os pacientes que procuravam atendimento no Sistema Único de Saúde (SUS) do Estado do Paraná necessitavam de uma solução para receber um procedimento médico adequado. Foi desenvolvida uma ferramenta baseada em técnicas da Pesquisa Operacional em conjunto com um sistema computacional que a partir de um algoritmo matemático que deve organizar e controlar os dados da Secretaria da Saúde do Estado do Paraná (SESA). Ao término da pesquisa, verificou-se que os prazos de tempo para o atendimento de pacientes foram reduzidos. Além disso, percebeu-se a melhoria em outros aspectos do sistema da saúde como a redução do número e das distâncias das viagens de ambulância e a melhora no controle e organização da verba pública controlada pela SESA.

Conforme Santos *et al.* (2016), uma confecção de moda íntima feminina localizada no Rio de Janeiro pretendia maximizar suas receitas a partir de uma quantidade de insumos disponíveis. Assim, foi utilizado o método Simplex em conjunto com o *software* LINDO para otimizar as receitas por meio de um cenário proposto pela técnica. Avaliando o cenário em que a empresa se encontrava e o cenário proposto pelo método Simplex, percebeu-se que após a otimização houve um acréscimo no lucro da empresa de aproximadamente 9,3%.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de um cenário que está em constante busca por melhorias, é de grande importância a análise entre dois processos para a verificação de qual é o mais vantajoso, assim como, o uso de técnicas de otimização da produção que procuram maximizar o lucro e/ou minimizar os custos organizacionais.

Sendo assim, conforme Mojsov (2012) e Mangovska (2004), o processo de purga enzimática pode ser considerado mais vantajoso em relação ao processo de purga alcalina quando se trata de menores danos aos materiais

processados e da redução de custos de processo com relação a consumo de energia, água e produtos auxiliares. Por outro lado, os métodos de Pesquisa Operacional introduzidos nos procedimentos de beneficiamento primário têxtil podem acarretar em mudanças positivas na quantidade de produtos e nas reduções de custos produtivos, já que o estudo de revisão apresentou acréscimos em vários aspectos das organizações que receberam a aplicação das técnicas de otimização.

3. METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS

Para a realização do processo de purga alcalina foram utilizados hidróxido de sódio da BSC Químicos (produto principal do processo), detergente umectante e ácido acético, para a purga enzimática foram utilizados enzima Biokey BSPG composta por pectinases, celulasas e lipases da Akmey (produto principal do processo) e detergente umectante da Tremembé Química. Para ambos os processos foram utilizadas amostras de tecido de algodão, com suas especificações disponíveis na Tabela 1, cortadas em tiras de 5 cm x 30 cm, corante reativo da Golden e máquina de caneca (KIMAK AT1-SW).

Os processos de purga foram realizados no laboratório têxtil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Apucarana. Para a realização dos processos de Pesquisa Operacional foi utilizado a ferramenta SOLVER do programa *Microsoft Office Excel* 2019.

Tabela 1: Especificações do tecido.

Especificações do tecido	Dados do tecido
Composição	100% Algodão
Densidade das colunas	17 colunas/cm
Densidade das carreiras	24 carreiras/cm
Gramatura	150 g*m ⁻²
Cor	Branca
Fabricante	Dide Malhas (Apucarana – PR)

Fonte: Autor (2021).

3.2 PURGA ALCALINA

O processo de purga alcalina foi baseado no procedimento realizado por Silva (2019), variando os fatores de concentração de hidróxido de sódio, relação de banho e tempo de processo, usando somente os valores mínimos e máximos, sendo a receita apresentada na Tabela 2.

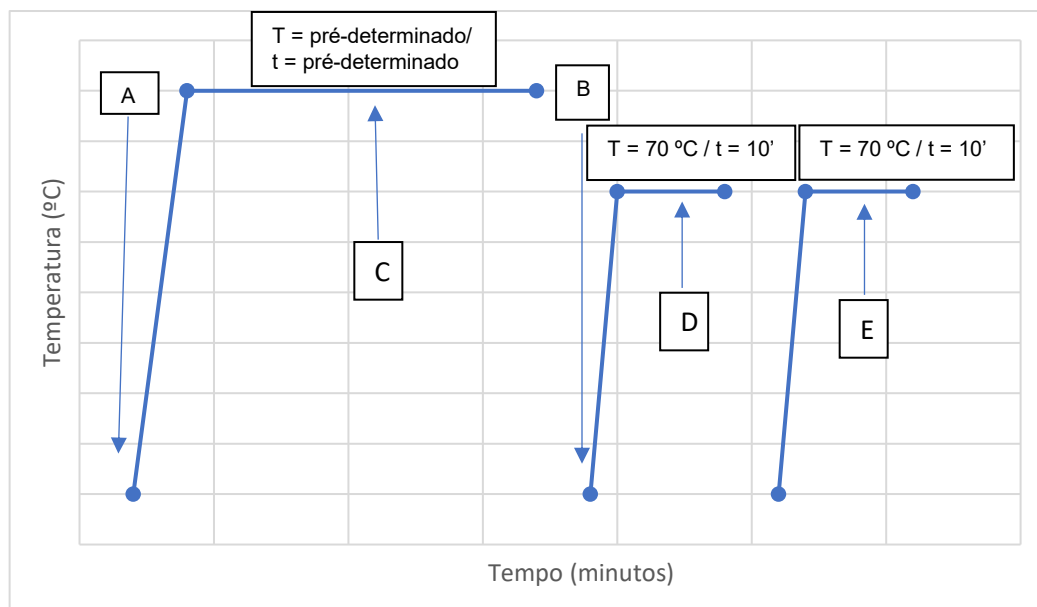
Tabela 2: Procedimento de purga alcalina para artigo de algodão.

Produtos e condições de processo	Fatores mínimos	Fatores máximos
Hidróxido de sódio (NaOH)	2 g. L ⁻¹	8 g. L ⁻¹
Detergente Umectante	1 g. L ⁻¹	1 g. L ⁻¹
Relação de banho (RB)	1:20	1:40
Temperatura de processo	90 °C	90 °C
Tempo de processo	20 minutos	60 minutos

Fonte: Silva (2019).

Os procedimentos de purga alcalina foram realizados em triplicata por meio de um processo *all in*, inicialmente com a inserção de hidróxido de sódio, detergente umectante e a amostra de tecido de algodão na máquina de caneca, sendo que os processos foram realizados por esgotamento à temperatura e tempos pré-determinados na Tabela 1. Em seguida, foi realizada a neutralização com 0,5 mL de ácido acético à uma temperatura de 70 °C por 10 minutos. Posteriormente, foi realizada a lavagem a quente à uma temperatura de 70 °C durante 10 minutos e, por fim, foram realizadas uma lavagem em água corrente e uma secagem a temperatura ambiente. O gráfico de processo é demonstrado na Figura 8.

Figura 8: Processo gráfico de purga alcalina.



Fonte: adaptado de Silva (2019).

- A → inserção de amostra, NaOH e detergente umectante.
- B → inserção de ácido acético.
- C → processo de purga alcalina.
- D → processo de neutralização.
- E → processo de lavagem a quente.

3.3 PURGA ENZIMÁTICA

O processo de purga enzimática também foi baseado no procedimento realizado por Silva (2019), variando os fatores de concentração de enzimas, relação de banho e tempo de processo, usando somente os valores máximos e mínimos, a receita do processo se encontra na Tabela 3.

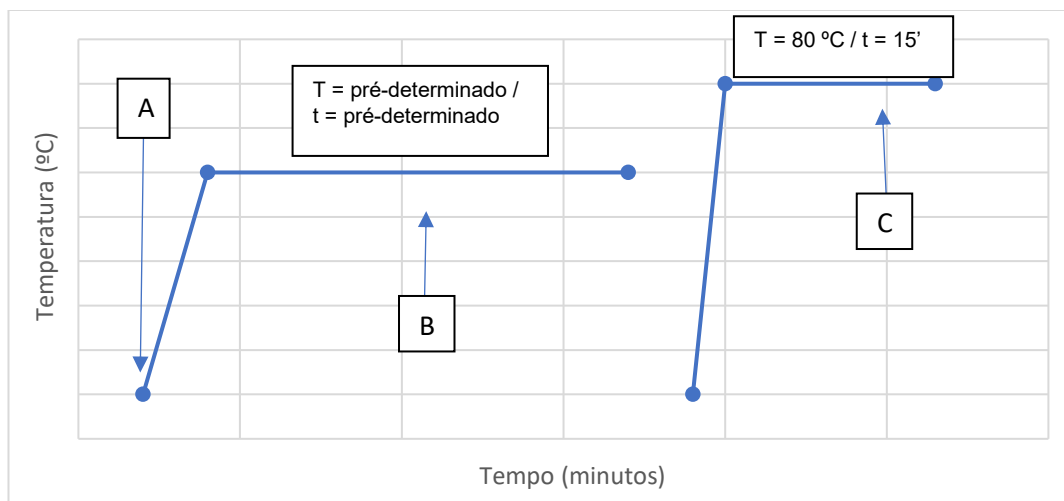
Tabela 3: Procedimento de purga enzimática para o artigo de algodão.

Produtos e condições de processo	Fatores mínimos	Fatores máximos
Enzimas	2% spm	8% spm
Detergente Umectante	1 ml. L ⁻¹	1 ml. L ⁻¹
Relação de banho (RB)	1:20	1:40
Temperatura de processo	60 °C	60 °C
Tempo de processo	20 minutos	60 minutos

Fonte: adaptado de Silva (2019).

Os procedimentos de purga enzimática foram realizados em triplicata por meio de um processo all in e iniciados a partir da disposição do composto de enzimas, detergente umectante e amostra de tecido de algodão na máquina de caneca, o processo também foi realizado por esgotamento a temperatura e tempos pré-determinados na Tabela 2. Posteriormente, o processo foi colocado em uma lavagem à quente à uma temperatura de 80 °C durante 15 minutos e, por fim, foi realizado o enxágue em água corrente e a secagem da amostra em temperatura ambiente. O gráfico de processo é demonstrado na Figura 9.

Figura 9: Processo gráfico de purga enzimática.



Fonte: adaptado de Silva (2019).

- A → inserção de amostra, enzimas e detergente umectante.
- B → processo de purga enzimática.
- C → processo de lavagem a quente.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram caracterizadas por capilaridade, utilizando o teste realizado por Silva (2013b), com adaptações. As amostras de algodão 100%, foram cortadas em tiras de 2,5 cm x 30 cm e, então, realizado o teste de capilaridade da amostra por meio da marcação de 2 cm de comprimento. Em seguida, estas marcações foram submersas em uma solução de corante reativo

(1/1000). Posteriormente a 5 minutos de processo, as amostras que receberam os testes de capilaridade foram avaliadas de acordo com o comprimento que o corante percorreu ao ser absorvido pela fibra de algodão processado, medido por uma régua.

3.5 LEVANTAMENTO DE CUSTOS

Os custos dos processos foram relacionados somente às variáveis de processo que foram analisadas, sendo assim, os custos da água do processo foram dados em L/hora, do tempo de processo em Kw/hora e dos produtos principais, hidróxido de sódio para purga alcalina e enzimas para a enzimática, em reais. Os experimentos foram realizados na cidade de Apucarana, sendo que os custos de tempo e água foram obtidos de acordo com os valores da mesma.

Os custos de tempo, água e de produtos principais (hidróxido de sódio e enzimas) para o processo foram analisados conforme os valores base propostos pela companhia de energia, companhia de água e saneamento e pelos fornecedores, respectivamente. Esse levantamento de custos das variáveis permitiu o conhecimento de dados essenciais para o custo mínimo relacionado as receitas do presente trabalho.

3.6 DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS MATEMÁTICOS NO SETOR DE BENEFICIAMENTO TÊXTIL

Foram desenvolvidos os modelos matemáticos de programação linear de acordo com os valores mínimos das variáveis dos processos de purga levantados nas seções 3.2 e 3.3. Os mesmos modelos foram testados pelo método Simplex a partir da ferramenta SOLVER, presente no programa *Microsoft Office Excel 2019*, que trabalhou com a função objetivo e as restrições de processo obtidas no modelo matemático a fim de obter a minimização dos custos processuais das receitas.

3.7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi realizada uma análise para comparar os quesitos de qualidade por meio do teste de capilaridade a fim de avaliar e indicar qual dos procedimentos apresentou o maior índice de capilaridade para os processos têxteis.

Da mesma forma, também foi realizada uma avaliação para verificar entre os processos de purga alcalina e enzimática estudados, qual teria o menor custo processual, obtido a partir dos custos mínimos provenientes dos modelos de programação linear da Pesquisa Operacional.

Por fim, as verificações de capilaridade e custo mínimo dos processos foram avaliadas em conjunto para que fosse possível o entendimento de qual processo seria mais vantajoso em relação a ambas análises.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TESTE DE CAPILARIDADE

Os testes de capilaridade foram realizados, buscando verificar os resultados de capilaridade e suas médias dos processos obtidos nos ensaios para as purgas alcalinas e enzimáticas com fatores mínimos e máximos. Sendo assim, os resultados das medidas foram apresentados na Tabela 4, assim como suas médias, desvios padrões e erros.

Tabela 4: Medidas, médias, desvios padrões e erros dos testes de capilaridade.

Purga	Amostra	Capilaridade	Média	Desvio padrão	Erro
Alcalina mínima	1.1	6,2	5,9	0,3399	0,1963
	1.2	5,4			
	1.3	6,0			
Alcalina máxima	2.1	10,5	10,3	0,2357	0,136
	2.2	10,0			
	2.3	10,5			
Enzimática mínima	3.1	14,5	14,2	0,2943	0,1699
	3.2	13,8			
	3.3	14,3			
Enzimática máxima	4.1	12,7	12,5	0,2357	0,136
	4.2	12,7			
	4.3	12,2			

Fonte: Autor (2021).

De acordo as medidas realizadas nas amostras por meio dos testes de capilaridade, nota-se que a triplicata de processos de purga enzimática que receberam o fator mínimo de produto, de tempo de processo e de quantidade de água apresentaram os melhores resultados de capilaridade com uma média de

14,2 cm de corante que percorreu as amostras. Esses resultados estão de acordo com a literatura, sendo que para Pimentel (2010), os processos de purga enzimática sob as mesmas condições de processo que uma purga alcalina, apresentam melhores resultados de capilaridade.

A purga alcalina apresentou melhores resultados de capilaridade para suas amostras tipo 2 em relação às amostras tipo 1, esse fato pode ocorrer pelos maiores valores nos níveis de NaOH, tempo de processo e volume de água. Segundo Frizoni e Souza (2011), processos com maiores valores de hidróxido de sódio apresentam maior atividade do processo, aumentando as quantidades de impurezas retiradas e a hidrofiliabilidade do tecido, permitindo a maior capilaridade dos mesmos. Este álcali tem a função de atacar as impurezas da fibra de algodão e se utilizado em excesso pode degradar a fibra.

Os melhores resultados de capilaridade com o aumento do tempo de processo de purga alcalina, podem não ser indicadores relevantes para tal melhora, já que o início do processo é o momento em que as reações acontecem com maior velocidade, porém uma reação completa ainda é de grande importância (SILVA, 2019 apud SANTOS, 2010).

A purga enzimática apresentou melhores resultados de capilaridade para suas amostras tipo 3 em relação às amostras tipo 4, esse ponto pode ocorrer pelos menores valores de enzima combinados com um baixo tempo de processo. De acordo com Freitas (2009) e Li e Hardin (1998), é observada melhoria no procedimento enzimático quando utilizada uma menor concentração de enzimas para o processo, fato que pode ser explicado pela combinação sinérgica das enzimas, que durante o processo melhoram a reação do processo e a hidrofiliabilidade das amostras, permitindo também a redução da quantidade do composto enzimático a ser utilizado.

Contudo, Silva (2019) mostra que os processos de purga enzimática com menores concentrações de enzimas necessitam de maiores tempos de processo para apresentarem maiores capilaridades. Esta diferença entre a teoria e o presente estudo, porém com a apresentação de resultados semelhantes de capilaridade, pode ter ocorrido pela combinação de enzimas que buscam o

aumento da eficácia da biopurga, reduzindo seu tempo de processo. (KALANTZI et al., 2010).

4.2 ANÁLISE DOS CUSTOS PROCESSUAIS

4.2.1 Custo da água

O custo da água utilizada nos processos de purga será baseado na Sanepar – Companhia de Saneamento do Paraná, durante o período de junho de 2021. De acordo com a mesma, a UTFPR – campus Apucarana se enquadra na categoria Comercial / Utilidade Pública / Poder Público, porém, o estudo será proposto com o intuito de aplicação industrial, sendo assim, este será enquadrado na categoria Industrial, realizando a taxa mínima de R\$ 77,60 a cada $5 m^3$ (R\$ 15,52 / m^3) como demonstra a Tabela 5.

Tabela 5: Custo tabelado de água por m^3 .

		Industrial (R\$/m³)					
		Até 5 m³	6 a 10	11 a 15	16 a 20	21 a 30	> 30
ÁGUA Todas as Localidades Operadas		77,60	1,99	9,52	9,67	9,70	9,74
CURITIBA	ESGOTO	65,96	1,69	8,10	8,22	8,25	8,28
	ÁGUA E ESGOTO	143,56	3,68	17,62	17,89	17,95	18,02
DEMAIS LOCALIDADES	ESGOTO	62,08	1,60	7,62	7,74	7,76	7,79
	ÁGUA E ESGOTO	139,68	3,59	17,14	17,41	17,46	17,53

Fonte: Companhia de Água e Saneamento, 2021.

Posteriormente ao conhecimento da taxa de valor gasto com água, foram realizados os cálculos para a determinação da média de custo em cada processo de purga. Sendo assim, foram encontradas as médias de água gasta e em

seguida, os valores que estavam em *ml* foram transformados em metro cúbico para o conhecimento do valor monetário de acordo com a tabela provida pela empresa de água e saneamento.

1. Processo de purga alcalina com fatores mínimos:

$$A. T. G. = ((A. P. A. 1.1 + A. P. A. 1.2 + A. P. A. 1.3)/3) + ((A. N. A. 1.1 + A. N. A. 1.2 + A. N. A. 1.3)/3) + ((A. L. A. 1.1 + A. L. A. 1.2 + A. L. A. 1.3)/3) \quad \text{Equação (5)}$$

A.T.G. = água total gasta no processo;

A.P.A.'s = água de purga nas amostras 1.1, 1.2 e 1.3;

A.N.A.'s = água de neutralização nas amostras 1.1, 1.2 e 1.3;

A.L.A.'s = água de lavagem nas amostras 1.1, 1.2 e 1.3.

$$A. T. G. = ((49,2 + 49,72 + 50,56)/3) + ((49,2 + 49,72 + 50,56)/3) + ((49,2 + 49,72 + 50,56)/3)$$

$$A. T. G. = 149,48 \text{ ml}$$

Transformando em m^3 :

$$A. T. G. = \frac{149,48 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 1 \text{ L} * \frac{m^3}{1000 \text{ L}}$$

$$A. T. G. = 0,00014948 \text{ m}^3$$

Transformando em R\$:

$$\text{Valor monetário} = 0,00014948 \text{ m}^3 * \frac{\text{R\$ } 15,52}{\text{m}^3}$$

$$\text{Valor monetário} = \text{R\$ } 0,002319$$

2. Processo de purga alcalina com fatores máximos:

$$\begin{aligned} \text{A. T. G} = & ((\text{A. P. A. 2.1} + \text{A. P. A. 2.2} + \text{A. P. A. 2.3})/3) + ((\text{A. N. A. 2.1} + \text{A. N. A. 2.2} \\ & + \text{A. N. A. 2.3})/3) + ((\text{A. L. A. 2.1} + \text{A. L. A. 2.2} \\ & + \text{A. L. A. 2.3})/3) \end{aligned} \quad \text{Equação (5)}$$

A.T.G. = água total gasta no processo;

A.P.A.'s = água de purga nas amostras 2.1, 2.2 e 2.3;

A.N.A.'s = água de neutralização nas amostras 2.1, 2.2 e 2.3;

A.L.A.'s = água de lavagem nas amostras 2.1, 2.2 e 2.3.

$$\begin{aligned} \text{A. T. G.} = & ((102,24 + 102,56 + 98,92)/3) + ((102,24 + 102,56 + 98,92)/3) \\ & + ((102,24 + 102,56 + 98,92)/3) \end{aligned}$$

$$\text{A. T. G.} = 303,72 \text{ ml}$$

Transformando em m^3 :

$$\text{A. T. G.} = \frac{303,72 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 1 \text{ L} * \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}}$$

$$A. T. G. = 0,00030372 m^3$$

Transformando em R\$:

$$\text{Valor monetário} = 0,00030372 m^3 * \frac{R\$ 15,52}{m^3}$$

$$\text{Valor monetário} = R\$ 0,004714$$

3. Processo de purga enzimática com fatores mínimos:

$$A. T. G. = ((A. P. A. 3.1 + A. P. A. 3.2 + A. P. A. 3.3)/3) + ((A. L. A. 3.1 + A. L. A. 3.2 + A. L. A. 3.3)/3) \quad \text{Equação (6)}$$

A.T.G. = água total gasta no processo;

A.P.A.'s = água de purga nas amostras 3.1, 3.2 e 3.3;

A.L.A.'s = água de lavagem nas amostras 3.1, 3.2 e 3.3.

$$A. T. G. = ((50,26 + 48,08 + 47,6)/3) + ((50,26 + 48,08 + 47,6)/3)$$

$$A. T. G. = 97,29 ml$$

Transformando em m^3 :

$$A. T. G. = \frac{97,29 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 1 \text{ L} * \frac{m^3}{1000 \text{ L}}$$

$$A. T. G. = 0,00009729 \text{ m}^3$$

Transformando em R\$:

$$\text{Valor monetário} = 0,00009729 \text{ m}^3 * \frac{R\$ 15,52}{m^3}$$

$$\text{Valor monetário} = R\$ 0,001509$$

4. Processo de purga enzimática com fatores máximos:

$$A. T. G. = ((A. P. A. 4.1 + A. P. A. 4.2 + A. P. A. 4.3)/3) + ((A. L. A. 4.1 + A. L. A. 4.2 + A. L. A. 4.3)/3) \quad \text{Equação (6)}$$

A.T.G. = água total gasta no processo;

A.P.A.'s = água de purga nas amostras 4.1, 4.2 e 4.3;

A.L.A.'s = água de lavagem nas amostras 4.1, 4.2 e 4.3.

$$A. T. G. = ((93,92 + 95,84 + 92,68)/3) + ((93,92 + 95,84 + 92,68)/3)$$

$$A. T. G. = 188,29 \text{ ml}$$

Transformando em m^3 :

$$A. T. G. = \frac{188,29 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} * 1 \text{ L} * \frac{m^3}{1000 \text{ L}}$$

$$A. T. G. = 0,00018829 \text{ m}^3$$

Transformando em R\$:

$$\text{Valor monetário} = 0,00018829 \text{ m}^3 * \frac{15,52 \text{ R\$}}{m^3}$$

$$\text{Valor monetário} = \text{R\$ } 0,002922$$

4.2.2 Custo da energia

O custo da energia elétrica utilizada nos processos de purga será baseado no site da Copel – Companhia Paranaense de Energia, durante o período de junho de 2021. De acordo com a mesma, a UTFPR – campus Apucarana se enquadra na categoria Iluminação Pública – B4A, realizando um TE (Tarifa de Consumo de Energia) de R\$ 0,23646 / kWh e um TUSD (Tarifa de Uso de Sistema de Distribuição) de R\$ 0,22091 / kWh, totalizando R\$ 0,45737 / kWh como demonstra a Tabela 6.

Tabela 6: Custos TE e TUSD de energia elétrica por kWh.

Iluminação Pública		
Iluminação Pública – B4A		
	TE (R\$ / kWh)	TUSD (R\$ / kWh)
Convencional	Sem imposto	0,15890
	Com imposto	0,23646

Fonte: Companhia Paranaense de Energia, 2021.

Posteriormente ao conhecimento da taxa de valor gasto com energia, foram realizados os cálculos para a determinação da média de tempo em cada processo de purga. Sendo assim, foram encontradas as médias de tempo gasto e em seguida, os valores que estavam no formato de tempo foram transformados em *kWh* por meio do consumo da máquina de canecas, avaliado em 3 kW. Esse consumo em conjunto com a tabela provida pela empresa de energia possibilitou o conhecimento do valor monetário deste insumo.

1. Processo de purga alcalina com fatores mínimos:

$$T.T.G. = ((T.P.A. 1.1 + T.P.A. 1.2 + T.P.A. 1.3)/3) + ((T.N.A. 1.1 + T.N.A. 1.2 + T.N.A. 1.3)/3) + ((T.L.A. 1.1 + T.L.A. 1.2 + T.L.A. 1.3)/3) \quad \text{Equação (7)}$$

T.T.G. = tempo total gasto no processo;

T.P.A.'s = tempo de purga das amostras 1.1, 1.2 e 1.3;

T.N.A.'s = tempo de neutralização das amostras 1.1, 1.2 e 1.3;

T.L.A.'s = tempo de lavagem das amostras 1.1, 1.2 e 1.3.

$$T.T.G. = ((20 + 20 + 20)/3) + ((10 + 10 + 10)/3) + ((10 + 10 + 10)/3)$$

$$T.T.G. = 40 \text{ min}$$

Transformando em horas:

$$T.T.G. = 40 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$T.T.G. = 0,666 \text{ horas}$$

Transformando em kWh:

$$T.E.G. = 0,666 \text{ horas} * 3 \text{ kW}$$

$$T.E.G. = 1,998 \text{ kWh}$$

T.E.G. = total de energia gasta por hora.

Transformando em R\$:

$$\text{Valor Monetário} = 1,998 \text{ kWh} * \frac{R\$ 0,45737}{\text{kWh}}$$

$$\text{Valor Monetário} = R\$ 0,91382526$$

2.Processo de purga alcalina com fatores máximos:

$$T.T.G. = ((T.P.A.2.1 + T.P.A.2.2 + T.P.A.2.3)/3) + ((T.N.A.2.1 + T.N.A.2.2 + T.N.A.2.3)/3) + ((T.L.A.2.1 + T.L.A.2.2 + T.L.A.2.3)/3) \quad \text{Equação (7)}$$

T.T.G. = tempo total gasto no processo;

T.P.A.'s = tempo de purga das amostras 2.1, 2.2 e 2.3;

T.N.A.'s = tempo de neutralização das amostras 2.1, 2.2 e 2.3;

T.L.A.'s = tempo de lavagem das amostras 2.1, 2.2 e 2.3.

$$T.T.G. = ((60 + 60 + 60)/3) + ((10 + 10 + 10)/3) + ((10 + 10 + 10)/3)$$

$$T.T.G. = 80 \text{ min}$$

Transformando em horas:

$$T.T.G. = 80 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$T.T.G. = 1,333 \text{ horas}$$

Transformando em kWh:

$$T. E. G. = 1,333 \text{ horas} * 3 \text{ kW}$$

$$T. E. G. = 3,999 \text{ kWh}$$

T.E.G. = total de energia gasta por hora.

Transformando em R\$:

$$\text{Valor Monetário} = 3,999 \text{ kWh} * \frac{R\$ 0,45737}{\text{kWh}}$$

$$\text{Valor Monetário} = R\$ 1,82902263$$

3.Processo de purga enzimática com fatores mínimos:

$$T. T. G. = ((T. P. A. 3.1 + T. P. A. 3.2 + T. P. A. 3.3)/3) + ((T. L. A. 3.1 + T. L. A. 3.2 + T. L. A. 3.3)/3) \quad \text{Equação (8)}$$

T.T.G. = tempo total gasto no processo;

T.P.A.'s = tempo de purga das amostras 3.1, 3.2 e 3.3;

T.L.A.'s = tempo de lavagem das amostras 1.1, 1.2 e 1.3.

$$T. T. G. = ((20 + 20 + 20)/3) + ((15 + 15 + 15)/3)$$

$$T. T. G. = 35 \text{ min}$$

Transformando em horas:

$$T. T. G. = 35 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$T. T. G. = 0,583 \text{ horas}$$

Transformando em kWh:

$$T. E. G. = 0,583 \text{ horas} * 3 \text{ kW}$$

$$T. E. G. = 1,749 \text{ kWh}$$

T.E.G. = total de energia gasta por hora.

Transformando em R\$:

$$\text{Valor Monetário} = 1,749 \text{ kWh} * \frac{R\$ 0,45737}{\text{kWh}}$$

$$\text{Valor Monetário} = R\$ 0,79994013$$

4.Processo de purga enzimática com fatores máximos:

$$T.T.G. = ((T.P.A.4.1 + T.P.A.4.2 + T.P.A.4.3)/3) + ((T.L.A.4.1 + T.L.A.4.2 + T.L.A.4.3)/3) \quad \text{Equação (8)}$$

T.T.G. = tempo total gasto no processo;

T.P.A.'s = tempo de purga das amostras 4.1, 4.2 e 4.3;

T.L.A.'s = tempo de lavagem das amostras 4.1, 4.2 e 4.3.

$$T.T.G. = ((60 + 60 + 60)/3) + ((15 + 15 + 15)/3)$$

$$T.T.G. = 75 \text{ min}$$

Transformando em horas:

$$T.T.G. = 75 \text{ min} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$T.T.G. = 1,25 \text{ horas}$$

Transformando em kWh:

$$T.E.G. = 1,25 \text{ horas} * 3 \text{ kW}$$

$$T.E.G. = 3,75 \text{ kWh}$$

T.E.G = total de energia gasta por hora.

Transformando em R\$:

$$\text{Valor Monetário} = 3,75 \text{ kWh} * \frac{\text{R\$ } 0,45737}{\text{kWh}}$$

$$\text{Valor Monetário} = \text{R\$ } 1,7151375$$

4.2.3 Custo do hidróxido de sódio

O custo do hidróxido de sódio utilizada nos processos de purga alcalina será baseado conforme seu fornecedor, BSC Químicos. Para tanto, o custo estipulado pela mesma foi de R\$ 1,54 em um recipiente com 1 kg.

Posteriormente, foram realizados os cálculos para a determinação das médias das quantidades de hidróxido de sódio utilizadas para contabilizar o valor monetário gasto na receita determinada na metodologia deste trabalho.

1. Processo de purga alcalina com fatores mínimos:

$$T.S.C.G. = (S.C.A. 1.1 + S.C.A. 1.2 + S.C.A. 1.3)/3 \quad \text{Equação (10)}$$

T.S.C.G. = total de hidróxido de sódio gasto no processo.

S.C.A.'s = quantia de hidróxido de sódio usado nas amostras 1.1, 1.2 e 1.3.

$$T.S.C.G. = (0,0984 + 0,09944 + 0,10112)/3$$

$$T.S.C.G. = 0,099653 \text{ gramas}$$

Transformando em R\$:

$$\text{T.S.C.G.} = 0,099653 \text{ gramas} * \frac{\text{R\$ 1,54}}{\text{gramas}}$$

$$\text{T.S.C.G.} = \text{R\$ 0,15346562}$$

2. Processo de purga alcalina com fatores máximos:

$$\text{T.S.C.G.} = (\text{S.C.A. 2.1} + \text{S.C.A. 2.2} + \text{S.C.A. 2.3})/3 \quad \text{Equação (10)}$$

T.S.C.G. = total de hidróxido de sódio gasto no processo.

S.C.A.'s = quantia de hidróxido de sódio usado nas amostras 2.1, 2.2 e 2.3.

$$\text{T.S.C.G.} = (0,81792 + 0,82048 + 0,79136)/3$$

$$\text{T.S.C.G.} = 0,80992 \text{ gramas}$$

Transformando em R\$:

$$\text{T.S.C.G.} = 0,80992 \text{ gramas} * \frac{\text{R\$ 1,54}}{\text{gramas}}$$

$$\text{T.S.C.G.} = \text{R\$ 1,24727}$$

4.2.4 Custo da enzima

O custo da enzima Biokey BSPG utilizada nos processos de purga enzimática será baseado de acordo com seu fornecedor, Akmey Biotecnologia Têxtil, logo, o preço estimado pela empresa foi de R\$ 16,00 em um recipiente contendo 1 kg.

Em seguida, foram realizados os cálculos para a determinação das médias das quantidades de enzimas utilizadas para determinar seus valores monetários a partir do custo estabelecido anteriormente.

1. Processo de purga enzimática com fatores mínimos:

$$T.E.G. = (E.A.3.1 + E.A.3.2 + E.A.3.3)/3 \quad \text{Equação (9)}$$

T.E.G. = total de enzimas gastas.

E.A.'s = quantia de enzimas nas amostras 3.1, 3.2 e 3.3.

$$T.E.G. = (0,05026 + 0,04808 + 0,0476)/3$$

$$T.E.G. = 0,048646 \text{ gramas}$$

Transformando em R\$:

$$T.E.G. = 0,048646 \text{ gramas} * \frac{R\$ 16,00}{1000 \text{ gramas}}$$

$$T.E.G. = R\$ 0,000778336$$

2. Processo de purga enzimática com fatores máximos:

$$T.E.G. = (E.A.4.1 + E.A.4.2 + E.A.4.3)/3 \quad \text{Equação (9)}$$

T.E.G. = total de enzimas gastas.

E.A's = quantia de enzimas nas amostras 4.1, 4.2 e 4.3.

$$T.E.G. = (0,18784 + 0,19168 + 0,18536)/3$$

$$T.E.G. = 0,188293 \text{ gramas}$$

Transformando em R\$:

$$T.E.G. = 0,188293 \text{ gramas} * \frac{R\$ 16,00}{1000 \text{ gramas}}$$

$$T.E.G. = R\$ 0,003012688$$

4.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE PROGRAMAÇÃO LINEAR

Os modelos foram desenvolvidos a partir dos fatores mínimos de cada processo e de acordo com as variáveis de decisão, restrições e função objetivo advindas da programação linear, sendo assim, o problema foi organizado conforme os cálculos de cada tipo de purga a seguir.

4.3.1 Modelo matemático para purga alcalina

1. Variáveis de decisão:

X1 = quantidade de hidróxido de sódio utilizado na produção da receita.

X2 = quantidade de água utilizada na produção da receita.

X3 = quantidade de energia utilizada na produção da receita.

2. Função Objetivo:

O objetivo deste trabalho é a minimização dos custos de cada variável de decisão, logo,

$$\text{Função } (x) = \text{Custo NaOH} * X1 + \text{Custo Água} * X2 + \text{Custo Energia} * X3$$

$$\text{Minimizar } Z = 0,15346562 * X1 + 0,002319 * X2 + 0,91382526 * X3$$

3. Restrições:

Tabela 7: Restrições e suas descrições para o processo de purga alcalina com fatores mínimos.

Restrições	Descrição
$0,0475 * X1 + 7,1255e - 5 * X2 + 0,9524 * X3 \leq 1$	Restrição relacionada a porcentagem de cada variável comparada ao todo.
$X1 \geq 0,099653$	Restrição relacionada a quantidade mínima de hidróxido de sódio para o processo.
$X1 \leq 0,80992$	Restrição relacionada a quantidade máxima de hidróxido de sódio para o processo.
$X2 \geq 0,00014948$	Restrição relacionada a quantidade mínima de água para o processo.
$X2 \leq 0,00030372$	Restrição relacionada a quantidade máxima de água para o processo.
$X3 \geq 1,998$	Restrição relacionada a quantidade mínima de energia para o processo.
$X3 \leq 3,999$	Restrição relacionada a quantidade máxima de energia para o processo.
$X1, X2 \text{ e } X3 \geq 0$	Todas as restrições devem possuir seus valores maiores que zero.

Fonte: Autor (2021).

A primeira restrição foi baseada no somatório das quantidades mínimas de cada variável (hidróxido de sódio, água e energia) e qual foi sua porcentagem de participação no custo mínimo do processo, sendo assim, o cálculo realizado teve base na Equação 11 a seguir:

$Y_{1,2,3,...n}$ = quantidade mínima de cada variável.

$$\text{Percentual Variáveis} = \frac{\text{Qnt. mín. } Y_n}{\text{Qnt. mín. } Y_1 + \text{Qnt. mín. } Y_2 + \text{Qnt. mín. } Y_3} \quad \text{Equação (11)}$$

$$(1) \text{ Percentual Hidróxido de Sódio} = \frac{0,099653}{0,099653 + 0,00014948 + 1,998}$$

$$(1) \textit{ Percentual Hidróxido de Sódio} = 0,0475$$

$$(2) \textit{ Percentual Água} = \frac{0,00014948}{0,099653 + 0,00014948 + 1,998}$$

$$(2) \textit{ Percentual Água} = 7,1255e - 5$$

$$(3) \textit{ Percentual Energia} = \frac{1,998}{0,099653 + 0,00014948 + 1,998}$$

$$(3) \textit{ Percentual Energia} = 0,9524$$

No entanto, as restrições 2, 4 e 6 foram baseadas nas quantidades mínimas de hidróxido de sódio, água e energia, já as restrições 3, 5 e 7 nas quantidades máximas dos mesmos. A última restrição foi baseada na limitação de não negatividade, ou seja, as quantidades das variáveis não podem possuir valor negativo. Sendo assim, a Figura 22 retratou o conjunto de restrições relacionado a purga alcalina.

Figura 10: Restrições para purga alcalina com fatores mínimos.

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0,0475 * X1 + 7,1255e-5 * X2 + 0,9524 * X3 \leq 1 & [1] \\ X1 \geq 0,096653 & [2] \\ X1 \leq 0,80992 & [3] \\ X2 \geq 0,00014948 & [4] \\ X2 \leq 0,00030372 & [5] \\ X3 \geq 1,998 & [6] \\ X3 \leq 3,999 & [7] \\ X1, X2 \text{ e } X3 \geq 0 & [8] \end{array} \right.$$

4.3.2 Modelo matemático para purga enzimática

1. Variáveis de decisão:

X1 = quantidade de enzimas utilizadas na produção da receita.

X2 = quantidade de água utilizada na produção da receita.

X3 = quantidade de energia utilizada na produção da receita.

2. Função Objetivo:

O objetivo deste trabalho é a minimização dos custos de cada variável de decisão, logo,

$$\text{Função } (x) = \text{Custo Enzimas} * X1 + \text{Custo Água} * X2 + \text{Custo Energia} * X3$$

$$\text{Minimizar } Z = 0,000778336 * X1 + 0,001509 * X2 + 0,79994013 * X3$$

3. Restrições:

Tabela 8: Restrições e suas descrições para o processo de purga enzimática com fatores mínimos.

Restrições	Descrição
$0,027 * X1 + 5,4117e - 5 * X2 + 0,9728 * X3 \leq 1$	Restrição relacionada a porcentagem de cada variável comparada ao todo.
$X1 \geq 0,048646$	Restrição relacionada a quantidade mínima de enzimas para o processo.
$X1 \leq 0,188293$	Restrição relacionada a quantidade máxima de enzimas para o processo.
$X2 \geq 0,00009729$	Restrição relacionada a quantidade mínima de água para o processo.
$X2 \leq 0,00018829$	Restrição relacionada a quantidade máxima de água para o processo.
$X3 \geq 1,749$	Restrição relacionada a quantidade mínima de energia para o processo.
$X3 \leq 3,75$	Restrição relacionada a quantidade máxima de energia para o processo.
$X1, X2 \text{ e } X3 \geq 0$	Todas as restrições devem possuir seus valores maiores que zero.

Fonte: Autor (2021).

A primeira restrição foi baseada no somatório das quantidades de cada variável (enzimas, água e energia) e em qual foi sua porcentagem de participação no custo mínimo do processo, sendo assim, o cálculo realizado também teve base na Equação 11 a seguir:

$Y_{1,2,3,\dots,n}$ = quantidade mínima de cada variável.

$$\text{Percentual Variáveis} = \frac{Qnt. \text{mín. } Y_n}{Qnt. \text{mín. } Y_1 + Qnt. \text{mín. } Y_2 + Qnt. \text{mín. } Y_3} \quad \text{Equação (11)}$$

$$(1) \text{ Percentual Enzimas} = \frac{0,048646}{0,048646 + 0,00009729 + 1,749}$$

$$(1) \text{ Percentual Enzimas} = 0,027$$

$$(2) \text{ Percentual \u00c1gua} = \frac{0,00014948}{0,048646 + 0,00009729 + 1,749}$$

$$(2) \text{ Percentual \u00c1gua} = 5,4117e - 5$$

$$(3) \text{ Percentual Energia} = \frac{1,749}{0,048646 + 0,00009729 + 1,749}$$

$$(3) \text{ Percentual Energia} = 0,9728$$

No entanto, as restri\u00e7\u00f5es 2, 4 e 6 foram baseadas nas quantidades m\u00ednimas de enzimas, \u00e1gua e energia, j\u00e1 as restri\u00e7\u00f5es 3, 5 e 7 nas quantidades m\u00e1ximas dos mesmos. A \u00faltima restri\u00e7\u00e3o foi baseada na limita\u00e7\u00e3o de n\u00e3o negatividade, ou seja, as quantidades das vari\u00e1veis n\u00e3o podem possuir valor negativo. Sendo assim, a Figura 11 retratou o conjunto de restri\u00e7\u00f5es relacionado a purga enzim\u00e1tica.

Figura 11: Restri\u00e7\u00f5es para purga enzim\u00e1tica com fatores m\u00ednimos.

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0,027 * X1 + 5,4117e-5 * X2 + 0,9728 * X3 \leq 1 & [1] \\ X1 \geq 0,048646 & [2] \\ X1 \leq 0,188293 & [3] \\ X2 \geq 0,00009729 & [4] \\ X2 \leq 0,00018829 & [5] \\ X3 \geq 1,749 & [6] \\ X3 \leq 3,75 & [7] \\ X1, X2 \text{ e } X3 \geq 0 & [8] \end{array} \right.$$

4.4 MÉTODO SIMPLEX POR SOLVER

Tanto o processo de purga alcalina como a enzimática tiveram as mesmas condições para as restrições como a limitação mínima e máxima das quantidades relacionadas a cada variável assim como a porcentagem de participação de cada variável em relação ao todo. Essas condições foram enviadas ao Excel para serem resolvidas pela ferramenta SOLVER e demonstradas seu passo a passo de resolução nos próximos tópicos.

4.4.1 Método Simplex para purga alcalina com fatores mínimos

Para o programa Microsoft Office Excel 2019, o problema do processo convencional de purga foi montado a partir das variáveis, função objetivo e suas restrições assim como suas desigualdades / igualdades e limitações, estas foram demonstradas na Figura 12.

Figura 12: Variáveis, função objetivo e restrições para purga alcalina no Excel.

	Quantidade de NaOH	Quantidade de água	Quantidade de energia	Desigualdades / Igualdades	Limites
Variáveis de decisão	X1	X2	X3		
Função objetivo	0,15346562	0,002319	0,91382526	=	0
Restrição 1 (% / Todo)	0,0475	0,000071255	0,9524	<=	1
Restrição 2 (Qt. Mín.)	1	0	0	>=	0,099653
Restrição 3 (Qt. Máx.)	1	0	0	<=	0,80992
Restrição 4 (Qt. Mín.)	0	1	0	>=	0,00014948
Restrição 5 (Qt. Máx.)	0	1	0	<=	0,00030372
Restrição 6 (Qt. Mín.)	0	0	1	>=	1,998
Restrição 7 (Qt. Máx.)	0	0	1	<=	3,999
Restrição 8 (Não-negatividade)	1	1	1	>=	0

Fonte: Autor (2021).

A partir do modelo preparado no Excel, foi necessário aplicar a ferramenta Solver, que se encontra na aba Dados dentro do tópico Análise. Ao selecionar o recurso Solver, uma aba com os parâmetros a serem inseridos foi

aberta com a descrição das necessidades sendo estas “Definir objetivo”, “Alterando Células Variáveis”, “Sujeito às Restrições” e “Selecionar um Método de Solução”.

Os parâmetros necessários para a ferramenta Solver realizar os cálculos foram preenchidos por meio dos dados da Figura 12, sendo assim, a necessidade “Definir objetivo” foi completada com a função objetivo, “Alterando Células Variáveis” com as variáveis de decisão X1 (NaOH), X2 (água) e X3 (energia), “Sujeito às Restrições” com as restrições de 1 a 8 e “Selecionar um Método de Solução” com a alternativa LP Simplex como mostra a Figura 13.

Figura 13: Parâmetros do Solver com as características da purga alcalina.

Fonte: Autor (2021).

A solução para o problema de minimização dos custos para a purga alcalina com fatores mínimos de processo foi encontrada nos valores obtidos na Tabela 9 para as variáveis X1, X2, X3 e para a função objetivo do custo mínimo do processo.

Tabela 9: Solução do problema de purga alcalina proposta pela ferramenta Solver.

	Custo Mínimo (R\$)	Quantidade mínima
F.O Minimizar custos	R\$ 0,970249181	-
Variável X1 (NaOH)	-	0,099653
Variável X2 (Água)	-	0,00014948
Variável X3 (Energia)	-	1,045008895

Fonte: Autor (2021).

Logo, a receita de purga alcalina com fatores mínimos possui um custo mínimo de R\$ 0,97 por processo a partir de valores ideais mínimos para a quantidade de produto em suas variáveis estudadas, sendo estas as quantidades de 0,099 gramas de hidróxido de sódio, 0,00014 m^3 de água e 1,045 kW de energia elétrica.

4.4.2 Método Simplex para purga enzimática com fatores mínimos

O problema para o processo de purga realizada com enzimas foi montado da mesma forma que o processo de purga alcalina, somente substituindo a soda cáustica pelas enzimas. A Figura 14 mostra as condições para a solução pelo método Simplex.

Figura 14: Variáveis, função objetivo e restrições para purga enzimática no Excel.

	Quantidade de Enzimas	Quantidade de água	Quantidade de energia	Desigualdades / Igualdades	Limites
Variáveis de decisão	X1	X2	X3		
Função objetivo	0,000778336	0,001509	0,79994013	=	0
Restrição 1 (% / Todo)	0,027	0,000054117	0,9728	<=	1
Restrição 2 (Qnt. Mín.)	1	0	0	>=	0,048646
Restrição 3 (Qnt. Máx.)	1	0	0	<=	0,188293
Restrição 4 (Qnt. Mín.)	0	1	0	>=	0,00009729
Restrição 5 (Qnt. Máx.)	0	1	0	<=	0,00018829
Restrição 6 (Qnt. Mín.)	0	0	1	>=	1,749
Restrição 7 (Qnt. Máx.)	0	0	1	<=	3,75
Restrição 8 (Não-negatividade)	1	1	1	>=	0

Fonte: Autor (2021).

Para a resolução do problema baseado nas características da purga enzimática estudada, também foi realizado a aplicação da ferramenta Solver. Da mesma forma que para a resolução do problema de purga alcalina, para o estudo da purga enzimática foi necessário a aplicação de seus parâmetros específicos na tela de Parâmetros do Solver.

Os parâmetros necessários para a ferramenta Solver realizar os cálculos foram preenchidos por meio dos dados da Figura 14, sendo assim, a necessidade “Definir objetivo” foi completada com a função objetivo, “Alterando Células Variáveis” com as variáveis de decisão X1 (enzimas), X2 (água) e X3 (energia), “Sujeito às Restrições” com as restrições de 1 a 8 e “Selecionar um Método de Solução” com a alternativa LP Simplex como mostra a Figura 15.

Figura 15: Parâmetros do Solver com características da purga enzimática.

Fonte: Autor (2021).

A solução para o problema de minimização dos custos para a purga enzimática com fatores mínimos de processo foi encontrada nos valores obtidos na Tabela 10 para as variáveis X1, X2, X3 e para a função objetivo do custo mínimo do processo.

Tabela 10: Solução do problema de purga enzimática proposta pela ferramenta Solver.

	Custo Mínimo (R\$)	Quantidade mínima
F.O Minimizar custos	R\$ 0,82126483	-
Variável X1 (Enzimas)	-	0,048646
Variável X2 (Água)	-	0,00009729
Variável X3 (Energia)	-	1,026610354

Fonte: Autor (2021).

Portanto, a receita de purga enzimática com fatores mínimos possui um custo mínimo de R\$ 0,82 por processo a partir de valores ideais mínimos para a quantidade de produto em suas variáveis estudadas, sendo estas as quantidades de 0,048 gramas de enzimas, 0,000097 m^3 de água e 1,026 kW de energia elétrica.

4.5 ANÁLISE DO CUSTO PROCESSUAL

Tabela 11: Comparação entre os processos para custo e quantidade mínima.

	Custo Mín. (R\$) Purga Alcalina	Quantidade Mín. Purga Alcalina	Custo Mín. (R\$) Purga Enzimática	Quantidade Mín. Purga Enzimática	Variações
F.O Min. custos	0,97024918	-	0,82126483	-	0,14898435
Variável NaOH / Enzimas	-	0,99653	-	0,048646	0,947884
Variável Água	-	0,00014948	-	0,00009729	0,00005219
Variável Energia	-	1,045008895	-	1,026610354	0,01839854

Fonte: Autor (2021).

A Tabela 11 retrata as diferenças entre cada uma das variáveis de processo assim como para a função objetivo de minimização de custos. As três variáveis apresentaram menores quantidades de produto para o processo de purga enzimática com diferenças de 0,000052 m^3 de água e 0,018 kW de energia elétrica. No entanto, a variação entre as enzimas e o hidróxido de sódio existe

(0,94 gramas), porém, por serem produtos diferentes com custos e quantidades diferentes, dificulta a comparação.

Em relação a diferença na função objetivo de minimizar custos, nota-se que houve uma redução de R\$ 0,14 do processo de purga alcalina para o enzimático para a mesma quantidade de tecido. Logo, tanto para análise de capilaridade quanto para a de minimização de custos, foi observado que a purga enzimática apresentou os melhores resultados para ambos, utilizando o mínimo necessário dos produtos para realizar o processo, tornando o têxtil mais hidrofílico, fato que permitiu os melhores índices de capilaridade.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo foi realizado utilizando conceitos têxteis importantes no setor de beneficiamento, aplicando ferramentas de produção que permitem uma melhor análise de processos para tomada de decisões. Um lado envolvendo o beneficiamento têxtil primário por meio dos resultados apresentados pelos testes de capilaridade realizados nas amostras e, por outro lado, os cálculos e soluções demonstrados pelos modelos matemáticos de programação linear.

Sendo assim, ao analisar os testes de capilaridade que apresentaram parâmetros mínimos e máximos de processos, foi observado que a triplicata de amostras purgadas de forma enzimática a partir de condições mínimas de processo em suas variáveis tempo, água e concentração de produto, apresentaram os melhores índices de capilaridade (14,2 cm) em relação aos outros três processos.

Além disso, os processos experimentais poderiam apresentar melhores resultados em relação a capilaridade caso as condições de processo fossem mais adequadas à teoria, porém, isto fugiria dos objetivos do estudo de reduzir os custos das variáveis escolhidas como objeto de pesquisa, utilizando os valores mínimos para água, energia, hidróxido de sódio e enzimas.

Por outro lado, ao avaliar os modelos matemáticos de programação linear para os processos de purga convencional e enzimática foi necessário observar em relação a qual entre os processos apresentou o menor custo, os modelos também podem ser analisados em questão das quantidades mínimas de cada variável.

Ao comparar o custo mínimo de R\$ 0,82 para o processo de purga enzimática com o de R\$ 0,97 para o processo de purga alcalina em relação a mesma quantidade de tecido de algodão 100%, nota-se que o procedimento realizado com enzimas melhor atende a necessidade do processo de minimização de custo.

Entretanto, ambos os processos quando comparados a respeito das quantidades mínimas de suas variáveis apresentam resultados semelhantes à

minimização de custo. O procedimento realizado de purga enzimática apresenta menores quantidades de água ($0,00097 m^3$) e energia elétrica (1,026 kW) do que o processo de purga alcalina com $0,00014 m^3$ de água e 1,045 kW de energia elétrica. No entanto, as quantidades mínimas de enzimas e hidróxido de sódio não foram comparadas por apresentarem custos distintos.

Logo, ao combinarmos as análises de capilaridade com a de minimização de custos processuais, foi percebido que a receita e o processo de purga enzimática com fatores mínimos apresentaram melhores resultados em ambos os casos, mostrando uma diferença de R\$ 0,15 no custo mínimo e 8,4 cm de capilaridade a mais em relação a purga convencional com fatores mínimos.

Portanto, o estudo apresentou um caminho mais vantajoso para as amostras que passaram pelos processos de purga enzimática enquanto este é descrito como um processo de pequena escala, fica como sugestão para trabalhos futuros, uma análise dos mesmos processos para uma escala industrial, permitindo melhorias em processos que causam grandes impactos nos custos fabris e, também, o estudo realizado para valores de variáveis condizentes com a teoria, possibilitando a melhor verificação dos testes de capilaridade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIT Têxtil e Confecção, 2021. **Síntese do comércio exterior brasileiro no setor têxtil e de confecção fevereiro de 2021**. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/uploads/arquivos/S%C3%ADntese%20COMEX%20BR%20fev%2021.pdf>>.

ABQCT – Associação Brasileira de Químicos e Coloristas Têxteis, 2019. **Tecnologia Têxtil II**. Disponível em: <https://www.abqct.com.br/wp-content/uploads/2019/03/tecnologia_textil_Basica.pdf>.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. **A química do processamento têxtil**. Química nova, v.19, n. 3, p. 320-330, 1996. Disponível em: <http://static.sites.sbq.org.br/quimicanova.sbq.org.br/pdf/Vol19No3_320_v19_n3_17.pdf>.

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e modelos para Análise de Decisões**. Rio de Janeiro, 2002.

ANDREAUS, J. et al. **Aplicação de ciclodextrinas em processos têxteis**. Quím. Nova, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 929-937, 2010. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422010000400031&lng=en&nrm=iso>. acesso em 12 de março de 2020.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E. M. de Melo. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1987.

AZEVEDO, J. M. C. B. de. **Absorção de capilaridade de soluções aquosas salinas em materiais porosos**. FEUP (Faculdade de Engenharia Universidade do Porto), 2013. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68742/2/26852.pdf>>.

BARBOZA, A. O.; CARNIERI, C.; STEINER, M. T. A.; SIQUEIRA, P. H. **Técnicas da pesquisa operacional no problema de horários de atendentes em centrais telefônicas**. Revista Gestão & Produção, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2003000100008&script=sci_arttext>.

BASTIAN, E. Y. O. **Guia técnico ambiental da Indústria Têxtil – Série P + L**. São Paulo: CETESB: SINDITÊXTIL – SP, 2009. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/guia_textil.pdf>.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. P. **Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Disponível em: <https://www.academia.edu/40499897/Patricia_Belfiore_and_Luiz_Paulo_Favero_Auth_Pesquisa_operacional_Para_Cursos_De_Engenharia_201320191002_39340_1u3nmmc>.

BORGES, P. C. R. **Métodos quantitativos de apoio à bibliometria: a pesquisa operacional pode ser uma alternativa?**. Brasília, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-19652002000300001&script=sci_arttext>.

BRUNS, R. de; SONCIM, S. P.; SINAY, M. C. F. de. **Pesquisa Operacional: uma aplicação da teoria das filas a um sistema de atendimento**. Instituto Militar de Engenharia (IME) – Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33475966/TEORIA_DAS_FILAS.pdf?1397572506=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPESQUISA_OPERACIONAL_UMA_APLICAO_DA_TE.pdf&Expires=1618378582&Signature=W8JFqX-Boi2~KdoOaE6atCJu-XGF9S9ij7hiWLF4qYf84abD47qVImYE2I1FotZF~KA1Xu1p~n5k6y1I1b6a48GYWC1cyp6EjOB6NWLfMJnyAw-MBG-hKGYToYsBRytqG1aJr2f2JjsHq8eQmLzgfJdh9-Yu14WAXVKcnIm6klhckL4WI0~dORJ9quLLnpc0kDltiwPf~-snD6W9ztO-fk-EqxyCF5XGMczBvZ1WfOmXYTIL7CqEE81DSSFESYXR-t0zytPccT2UQ74nHoRvjA8hCFneBijf38yO72pol6QiR8yKX-GeXa-b3wwD335df8CuMNk7FnmW7gDsV0yPZw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>.

CALADO, V. M. M.; DILLON, A. J. P.; SALGUEIRO, A. A. **Produção de Celulases por Linhagens de *Humicola grisea* sob Cultivo Submerso**. Revista Ciências & Tecnologia, 2007.

CANTO, E. L. **Química na abordagem do cotidiano**. Vol. 3. 1 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

CARVALHO, I. de S. B. **Saponificação de ácidos graxos e triacilglicerídeos: avaliação por espectrometria de infravermelho**. Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – MG, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9WWFG5/1/isabel_monografia2013.pdf>.

CAVACO-PAULO, A.; GUBITZ, G. M. **Textile processing with enzymes**. The Textile Institute, 2003. Disponível em: <<file:///C:/Users/user/Downloads/Textile%20processing%20with%20enzymes.pdf>>.

CAVALCANTE, D. M.; SANTOS, E. S. dos. **Utilização da programação linear para maximização dos lucros da produção de pães em uma empresa de panificação**. Brazilian Journal of Development (BJD), 2019. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/5125>>.

CHEREM, L. F. C. **Um modelo para a predição da alteração dimensional em tecidos de malha em algodão**. Florianópolis – SC, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88100/204528.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

CHOUHDURY, A. K. R. et al. **Pre-treatment and preparation of textile materials prior to dyeing**. Handbook of Textile and Industrial Dyeing: principles, processes and types of dyes, Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. Disponível em: <<https://pt.br1lib.org/book/1242589/34d109?regionChanged=&redirect=246107194>>.

COELHO, J. D. **Produção de algodão**. Caderno Setorial ETENE, Banco do Nordeste, 2018. Disponível em: <https://www.melhorparaasuaempresa.com.br/s482-dspace/bitstream/123456789/988/1/2018_CDS_56.pdf>.

COSTA, M.; LIMA, A. de; ROSA, J. M. **FIBRAS TÊXTEIS NO BRASIL: PROPRIEDADES E PERFIL ATUAL DAS PRINCIPAIS FIBRAS UTILIZADAS NO SETOR DO VESTUÁRIO**. Nono Colóquio de Moda, [s. l.], 1 jan. 2013.

DAS, D.; PATRA, A. K.; JAKHAR, R.; SUNDER, S. **Electrochemical bleaching of cotton**. Bhiwani: Indian Journal of Fibre & Textile Research – India, 2016. Disponível em: <<http://op.niscair.res.in/index.php/IJFTR/article/view/5467/858>>.

FACCIOLI, G.; BARBOSA, L. A.; OLIVEIRA, S. M. de; NETO, J. M. F. A. **Sustentabilidade na gestão da indústria têxtil: aplicações enzimáticas no tratamento de efluentes**. Revista *Prospectus: Gestão e Tecnologia* – FATEC, 2020. Disponível em: <<file:///C:/Users/user/Downloads/40-Texto%20do%20artigo-50-1-10-20200526.pdf>>.

FREITAS, K. R. de. **CARACTERIZAÇÃO E REUSO DE EFLUENTES DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DA INDÚSTRIA TÊXTIL**. Florianópolis, 19/02/2002. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84344/181231.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

FREITAS, K. R. de. **Estabilização enzimática para aplicação em biopurga de tecidos de malha de algodão**. Florianópolis: UFSC – SC, Março de 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/93001/266669.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

FRIZONI, P. R.; SOUZA, S. A. de; GIORDANO, J. B. **Processo ecológico para o tingimento de algodão: Purga enzimática**. Faculdade de Tecnologia de Americana (Americana – SP), 2011. Disponível em: <http://ric.cps.sp.gov.br/bitstream/123456789/1422/1/20112S_FRIZONIPriscilaRobertaeSOUZASamantaAparecidade_TCCTX0211.pdf>

GANDHI, N. N. **Applications of lipases**. Journal of the American Oil Chemists Society, 1997.

GONDIM, R. M. A. **Relacionamento entre microestrutura e propriedades de variedades de fibras de algodão cultivadas no Brasil**. Campinas – SP: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 05/04/1989. Disponível em:

<http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/267025/1/Gondim_RoseMarryAraujo_M.pdf>.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. V8, 2001. Disponível em: <https://www.academia.edu/29281242/HILLIER_Frederick_S_LIEBERMAN_Gerald_J_Introdu%C3%A7%C3%A3o_%C3%A0_Pesquisa_Operacional>.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. V9, 2013. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=-A88a0-KxQ0C&oi=fnd&pg=PR1&dq=pesquisa+operacional+&ots=INZlZV9w0W&sig=OxayBbIDID_g-sfYPEv8uf-aMXc#v=onepage&q=pesquisa%20operacional&f=false>.

HOONDAL, G. S.; TIWARI, R. P.; TEWARI, R.; DAHIYA, N.; BEG, Q. K. **Microbial alkaline pectinases and their industrial applications: a review**. Applied Microbiology and Biotechnology, 02/07/2002.

IEL, Instituto Euvaldo Lodi. **Análise da eficiência econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira**. Brasília, 2000. Disponível em: <https://www.redetec.org.br/wp-content/uploads/2015/02/Parte1_1_a_62.pdf>.

IMMICH, A. P. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de *Azadirachta indica* como adsorvente**. Florianópolis – SC, Agosto de 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/88917/233095.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

KALANTZI, S.; MAMMA, D.; CHRISTAKOPOULOS, P.; KEKOS, D. **Effect of pectate lyase bioscouring on physical, chemical and low-stress mechanical properties of cotton fabrics**. Bioresource Technology, 2008.

KALANTZI, S. et al. **Improved properties of cotton fabrics treated with lipase and its combination with pectinase**. Fibres & Textiles: in Eastern Europe, 2010.

LACHTERMACHER, G. **Pesquisa Operacional na Tomada de Decisões**. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

LEÃO, M. M. D. CARNEIRO, E. V. et al.. **Controle Ambiental na Indústria Têxtil**. Belo Horizonte: Segrac Editora e Gráfica Limitada – MG, 2002.

LI, Y.; HARDIN, I. R. **Treating Cotton with Cellulases and Pectinases: Effects on Cuticle and Fiber Properties**. Textile Research Journal, 1998.

LISBOA, E. F. A. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro – RJ, Fevereiro de 2002. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38550679/apostila_po.pdf?1440367722=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DAPOSTILA_DO_CURSO_PESQUISA_OPERACIONAL.pdf&Expires=1616911448&Signature=HB-CkLI9y0u0R~j1dsiDdqku4I0m8emHQzZbkbRtZCQvIOuDAAd-9eOgHrJQsiPnVU~nmw28nE7J7a9t4MfrDpoB4RtlilqL3Ls0kjUtvNKQbx~D--AbYt5xttp6snMRh3x80ctYLPcBkXZsfm4jM3QGxuKjund5UIHCCGZOIT7Kg9JH Hm6YaokkbV9RsyxReY91gC2nrShYqQs09yUiNIqRhkqOt2kNhN5MYiaogNQO mUNEOJsgWVHgcgKdJyNUj6MVhi-wKbXeTJ8GYBpAJ7p2dqV2QyLBZOoPBQoGvIF9sYZBEkRVSQws9jcgptV4~EafBjl4VWcy14FxG3eivTg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: Fundamentos e modelos**. Saraiva, 2009. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ZyprDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=pesquisa+operacional+&ots=yaAJQR7A_b&sig=JFyM1AsTuJW8OdxH3F3xGf1E6Y8#v=onepage&q=pesquisa%20operacional&f=false>.

LOURENÇO, A. A.; GOMES, G. H. G.; CARVALHO, P. A. M. de; MAFRA, R. S. de Carvalho; BRETAS, T. L.; SILVA, A. L. **Apresentação de material pedagógico – computacional para o ensino do Método Simplex**. Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento (PODes) – Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6745/1/ARTIGO_Apresenta%C3%A7%C3%A3oMaterialPedag%C3%B3gico.pdf>.

MANGOVSKA, B.; DEMBOVSKI, G.; JORDANOV, I. **Structural characteristics of cotton knitted fabrics after enzymatic and alkaline scouring**. Bulletin of the chemists and techologists of Macedonia, 2004. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/43971673/06-05-10-Characteristics-of-Knitted-Fabrics-After-Enzyme-Treatment>>.

MANSILHA, M. B.; FARRET, F. A.; KULLMANN, D. H. **Programação linear: método de otimização simplex e software OTIMIZA**. Revista ESPACIOS, 2017. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a17v38n60/a17v38n60p04.pdf>>.

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35652594/Introducao_a_pesquisa_Operacional__Fernando.pdf?1416463817=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroducao_a_Pesquisa_Operacional.pdf&Expires=1616022345&Signature=ese2TS7Ta0Le3aXqgyfy5kqBTNLwmZoiJJO7wdcnuhztwmVFKbU88Wk3aeT6RQX9izqMhPcQxQnUCL4ArqMA4cg~8C8s2wc~PGo-xyXHWOWm8pjepLY7Fw5UzvJmH61fpNgYYbUcKPfIGKOn-28jjjw7fEX52a6TK~qHfG0~fDxHt43cqxr1792cwxaoHJfxYeCLLloozuwWzhhbWpUHtm4eoNxlW0uXBcBquvQnF2~bxA8YMy0DI~4XGOkYhxWwscSKzoagrpDs52GRgXun88oBhfLu-myEOhCkm~KttbS45HOMVoQ6hWtUSlfsCRlotTGnML~~sO6Bdgue9iXg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>.

MARINS, F. A. S. **Introdução à Pesquisa Operacional**. Universidade Estadual Paulista (UNESP) – SP, 2011. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/35652594/Introducao_a_pesquisa_Operacional__Fernando.pdf?1416463817=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIntroducao_a_Pesquisa_Operacional.pdf&Expires=1619502216&Signature=dTlfOZGq57-KEzrCe34TEG849wH2eQRY7KDy1fk2SzK7zIT2gaYiHtshBnAvmrTvyAm2jS0IJVzuCGH2cLs0ddCjcLcQXt7ZXxqAAKVnjG~89v7raK0pln6YXSJcj3049WdhPbZCDFqPYe-z0NfCh3N-KRO4P9~rqlz909ZeQy1z~3iJE3AiFTAj5jsp0N2ZydlqC0rY1BaS6NgTfW1bZag3wUuBRaglmbB~aLUFh8MJS8IFNrd7oMX2F476kEvQuY1AdQZ2P3oQWTrFpLP9tY4WsOv76B2gj5~Z6cL3nByr5uXOIMRPMoJyzRNFCj0sUOV8e-8gbFWHNY806o3Pg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>.

MEDEIROS, G. A.; GONÇALVES, S. B.; RODRIGUES, D. S.; NETO, B. A. D. **Enzimas e Líquidos Iônicos: Uma Combinação Promissora para um Biodiesel Limpo**. Revista Virtual de Química, v. 5, n. 1, p.74-94, 2013. Disponível em: <<http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/v5n1a08.pdf>>.

MEDRI, W. **Métodos quantitativos aplicados**. Especialização em Controladoria e Contabilidade Empresarial: UEL, 2003.

MELLO, J. C. C. B. S. de; MELLO, M. H. C. S. de. **Integração entre o ensino de cálculo e o de pesquisa operacional**. Revista Produção, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/prod/v13n2/v13n2a12>>.

MOJSOV, K. **Enzyme scouring of cotton fabrics: A review**. International Journal of Marketing and Technology, 2012.

MONTEIRO, V. N.; SILVA, R. do N. **Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática**. Revista Processos Químicos, 2009. Disponível em: <http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/83/70>.

MOORE, S. B.; AUSLEY, L. W. **Systems thinking and green chemistry in the textile industry: concepts, Technologies and benefits**. Journal of Cleaner Production, 2004. Disponível em: <<https://coek.info/pdf-systems-thinking-and-green-chemistry-in-the-textile-industry-concepts-technologi.html>>.

MORAES, C. M. de. **Estudo da difusão de corantes reativos em tecido de algodão**. Campinas – SP, 10/12/2010. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/266974/1/Moraes_CristinaMartinsde_M.pdf>.
frsil

PASSOS, A. N. dos. **Estudos em programação linear**. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2009. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/306658/1/Passos_AdaoNascimento_M.pdf>.

PEREIRA, G. S. **Introdução a tecnologia têxtil**. Apostila da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Aranguá, 2009. Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/7/7d/Apostila_tecnologia.pdf>.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. São Paulo: Ed. Senac, 2009. Disponível em: <<http://fb166deaa7dcdb188902cc094a0ec650.juwiku.de/read/dinah-bueno-pezzolo-tecidos-historia-tramas-tipos-e-usos-portuguese-edition.pdf>>.

PIMENTEL, A. **Caracterização de uma pectinase comercial e sua utilização no processo de purga da indústria têxtil**. Florianópolis – SC, Junho de 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94697/282109.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

PRADO, D. S. do. **Programação Linear**. Falconi, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=DyfwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT16&dq=programa%C3%A7%C3%A3o+linear&ots=gaFrznbB0r&sig=IQ5_ITXoSv-VCvIBF1ob_EXzKvc#v=onepage&q=programa%C3%A7%C3%A3o%20linear&f=false>.

RABENSCHLAG, D. R. **Pesquisa Operacional**. Universidade Federal de Santa Maria, 2005. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/43016806/po_DenisRabenschlag.pdf?1456333280=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE_FEDERAL_DE_SANTA_MARIA_CENT.pdf&Expires=1616897791&Signature=bgk8VuBuXKag4wl7YTD~v0HvYxTv14yUVJ8yZDwal7nGD5OkGYO30Tiilz7hWhMcfiLtAlzar9HPxn4mZMpAqmbIWYSeS2t8BpUH2RGjYFgx2QXYVGpPIovt~3KU3PCYqi9CBylFV0NUC9Oeil9i8e4lckgq2HTMYK2cFvYBPqOqDyeHfYjilLO0MwZLkfPOE5vCv0S-aQW0qLsL6K0YWMSK5satSdP~otGaDTC7NaMBpaHBc6S6msqRkISX78ec7ijr88lk5GBHoNj2ym0hmTtrsP2mx9RGLELMw4YJ5NkAe7cu79npAhcJD-Q5JEZFqhhUKF~n--EDhoZ4037FA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>.

RANGEL, A.; SILVA, M.; COSTA, B. **Competitividade da indústria têxtil brasileira**. INMR - Innovation & Management Review, v. 7, n. 1, p. 151-174, 21 maio 2010.

RECH, S. R. **ESTRUTURA DA CADEIA PRODUTIVA DA MODA**. ModaPalavra e-periódico. 2008, [ficha de consulta 16 de Março de 2021]. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514051712004>>.

SALEM, V. **O beneficiamento têxtil na prática**. São Paulo – SP, 2005.

SALIM, M. M. F. F. **Oxidação fotoquímica UVC/H₂O₂ de águas residuárias têxteis visando o reuso no beneficiamento têxtil**. Florianópolis – SC, 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182872/349695.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

SANTANA, B. V. de; ALEIXO, I. V. **Avaliação da absorção por capilaridade de argamassas para revestimento com diferentes aditivos impermeabilizantes.** UniCEUB (Centro Universitário de Brasília), 2017. Disponível em: <<https://www.cienciasaude.uniceub.br/pic/article/view/5493/3856>>.

SANTOS, F. R. A. dos. **Emulsões múltiplas: formulação, caracterização, estabilidade e aplicações.** Universidade Fernando Pessoa – Porto, 2011. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/2465/3/TM_16427.pdf>.

SANTOS, M. P.; SOUZA, J. V.; MORAIS, M. F. **A simulação como ferramenta de apoio à tomada de decisão.** ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL – Campo Mourão: Editora de Fecilcam, 2008.

SANTOS, M. dos; LIMA, I. C.; PAIXÃO, A. C.; DIAS, F. da C.; REIS, M. F. dos. **Proposta de otimização do mix de produção utilizando o Método Simplex: um estudo de caso de uma confecção de moda íntima do município de Cordeiro – RJ.** Anais do IV Simpósio de Engenharia de Produção, 2016. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/49245377/SIMEP_2016_-_I_sis_-_calcinha.pdf?1475257831=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPROPOSTA_DE_OTIMIZACAO_DO_MIX_DE_PRODUCA.pdf&Expires=1618432806&Signature=WmusQJRqLQd4ZgSn1KTfP6F4w4cCLoJMSbEnmBGKxWvGE-E33tzttHhRFtsGa8BhfQ6yMexnbWoVs0HZOwdCNKJW5EDjHo4G6NY8bGbA~qo9ZZJWs03Q7b2XC6wh36hnGhTVtll4vkw6tydQt-WLxQs9qbR-QL~U4OeoNn3kx689Jl9WByYZ8uUdEbgpJxWrVo1mnpIgh4dO~RWBX6wz2sQQtOcRonbraztuRQdUIso0dnVkdLGOygZUfWBel-QXdJraDgsS7PN0Z0ib8J1-wnE6boMp1XcGHdSEYCDKkFx0qzrimUAbLg-szRnN3eZg6BWqq9UbEmh1S-EmT909w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA>.

SCARPIN, C.T.; DIAS, G. J. C.; STEINER, M. T. A.; WILHELM, V. E.; NETO, P. J. S. **Técnicas da Pesquisa Operacional aplicadas na otimização do fluxo de pacientes do Sistema Único de Saúde do Estado do Paraná.** Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2007. Disponível em: <<https://tema.sbmac.org.br/tema/article/view/224/163>>.

SCHNEIDER, R. M. **Método simplex para a programação linear.** Florianópolis – Universidade Federal de Santa Catarina, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/126306/Ruana_Maira_Schneider.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

SENAI, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Beneficiamento Têxtil.** São Paulo: SENAI – SP, 2015.

SILVA, B. C. **Comparativo das Propriedades de Transporte de Umidade, Capilaridade, Permeabilidade ao Vapor e Permeabilidade ao Ar em Tecidos**

37 Planos de Poliéster. P. 140. Dissertação (Doutorado)- Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013b.

SILVA, C. A. da. **Estudo comparativo entre a purga convencional e a purga enzimática.** Apucarana: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – PR, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5709/1/AP_COENT_2019_2_02.pdf> .

SOARES, A. F. S. **Caracterização físico-química, ecotoxicológica e avaliação de impacto ambiental de efluentes líquidos provenientes de indústria têxtil/malhas.** Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/3M.PDF>>.

SORNAS, J. J. **Influência do beneficiamento químico do algodão na obtenção de e caracterização de nanocristais de celulose.** Universidade Federal de Santa Catarina – Blumenau, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/191441/TCC_Jessica_Sornas_repositorio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

TAVČER, P. F. **Biotechnology in Textiles: an Opportunity of Saving Water, Waste Water - Treatment and Reutilization.** Universidade de Ljubljana – Eslovênia, 2011. Disponível em: < <https://www.intechopen.com/books/waste-water-treatment-and-reutilization/biotechnology-in-textiles-an-opportunity-of-saving-water>>.

UENOJO, M.; PASTORE, G. M. **Pectinases: aplicações industriais e perspectivas.** Química Nova: Revisão, 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/qn/v30n2/27.pdf>>.

VEZZÁ, C. S. B.; COTAIT, P. L. de A. e. **Produção de fibras para confecção de tecidos a partir da reciclagem de PET.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) – SP, 2006. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2006/Artigos/Art_TCC_054_2006.pdf>.