

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PRODUÇÃO MAIS LIMPA APLICADA NO PROCESSO
DE LAVAGEM DA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO:
AVALIAÇÃO MULTIMÉTRICA DA VIABILIDADE
ECONÔMICA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

RIMENA CANUTO OLIVEIRA

SÃO PAULO
2017

UNIVERSIDADE PAULISTA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PRODUÇÃO MAIS LIMPA APLICADA NO PROCESSO
DE LAVAGEM DA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO:
AVALIAÇÃO MULTIMÉTRICA DA VIABILIDADE
ECONÔMICA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Linha de Pesquisa: Avanços em Produção Mais Limpa e Ecologia Industrial.

Projeto de Pesquisa: Ecologia industrial: aplicação de conceitos visando à sustentabilidade.

RIMENA CANUTO OLIVEIRA

SÃO PAULO
2017

Oliveira, Rimena.

Produção mais Limpa aplicada no processo de lavagem da indústria do vestuário: avaliação multimétrica da viabilidade econômica e ambiental./ Rimena Oliveira. - 2017.

63 f. : il. color. + DVD.

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista, São Paulo, 2017.

Área de concentração: Sustentabilidade em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho.

1. Produção mais Limpa. 2. Processo de lavagem.

3. Sustentabilidade. I. Agostinho, Feni Dalano Roosevelt (orientador).

II. Título.

RIMENA CANUTO

**PRODUÇÃO MAIS LIMPA APLICADA NO PROCESSO
DE LAVAGEM DA INDÚSTRIA DO VESTUÁRIO:
AVALIAÇÃO MULTIMÉTRICA DA VIABILIDADE
ECONÔMICA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista (UNIP) para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador Dr. Feni Dalano Roosevelt Agostinho
Universidade Paulista – UNIP

Prof. Dr. Fábio Sevegnani
Universidade Paulista – UNIP

Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, pelo apoio em todos os momentos.
Às minhas irmãs, meus alicerces.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde, sabedoria, fé e por não permitir que eu desista de lutar pelos meus sonhos.

À minha mãe, Erlane, pelo amor incondicional e exemplo de mulher.

A meu pai, Edivar, por nunca medir esforços para a minha educação.

Às minhas irmãs, Débora Jamille e Gihane, por sempre me apoiarem e serem tão presentes.

Ao Professor Doutor Feni Dalano Roosevelt Agostinho, pela paciência e dedicação.

Aos professores do Programa de Mestrado-Minter, em especial ao professor Oduvaldo Vendrametto, pelo respeito, dedicação e carinho.

Ao Professor Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio, por disponibilizar seu tempo para ler este texto e participar da qualificação do meu trabalho.

Ao Professor Dr. Francisco Pinheiro, por toda atenção.

Aos colegas do Programa, pelo apoio.

À Universidade Paulista – UNIP, por acreditar no sucesso do Minter e na implantação do Mestrado em Engenharia de Produção no estado do Piauí.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade...”

(Albert Einstein)

RESUMO

O presente trabalho é um estudo do processo industrial de vestuário e tem como foco o processo de lavanderia industrial. Dentre todos os tipos de lavagem, a pesquisa se deteve ao processo denominado de Délavê, o que se justifica por ser um dos mais poluentes, onde visa retirar quase todo o tingimento do tecido. Analisando toda essa etapa, leva-se em consideração a quantidade de água e energia utilizada e como é feito o descarte dos resíduos formados. O trabalho analisou dois cenários da produção, antes e depois da aplicação de técnicas de produção mais limpa, por meio de uma abordagem multimétrica, para avaliar a relação custo-benefício econômica e ambiental com a aplicação da P+L. O estudo de caso foi realizado numa Indústria de confecções, no município de Teresina, estado do Piauí. Os resultados encontrados indicam uma economia de 18 mil litros de água em cada lavagem, uma diminuição na quantidade de energia elétrica utilizada de 40%, além de uma redução de todos os produtos químicos necessários para esse processo de lavagem após a implantação de técnicas de produção mais limpa, como cloro, enzima celulósica, permanganato e outros. Além da redução desses insumos e resíduos, foi feita uma análise econômica que apontou um aumento no lucro líquido da empresa de 42,66%, após a implantação do processo de P+L e mesmo sendo necessário um investimento para a implantação dessas técnicas, a empresa necessita somente de dois meses para obter o retorno desse investimento, devido às reduções obtidas. Para a avaliação de impacto ambiental, foi realizada a contabilidade ambiental em energia antes e após a P+L. O indicador utilizado foi a UEV, onde foi calculada antes da P+L, e encontrou-se o valor de $1,30E+12$ sej/kg e, após aplicação de P+L, a UEV encontrada foi de $2,20E+11$ sej/kg. Os resultados apontam um aproveitamento para a indústria com a aplicação desse processo nos dois aspectos, econômico e ambiental.

Palavras-chave: Indústria têxtil. Produção Mais Limpa. Processo de lavagem. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The present work is a study of the industrial process of clothing and focuses on the industrial laundry process. Among all the types of washing, the research stopped the process called Délavê, which is justified because it is one of the most polluting, where it aims to remove almost all the dyeing of the fabric. Analyzing this whole step, we take into account the amount of water and energy used and how the waste is disposed of. The study analyzed two production scenarios, before and after the application of cleaner production techniques, through a multimetric approach, to evaluate the economic and environmental cost-benefit ratio with the application of CP. The case study was carried out in a clothing industry, in the city of Teresina, state of Piauí. The results indicate a saving of 18 thousand liters of water in each wash, a reduction in the amount of electric energy used of 40%, and a reduction of all the products needed for this washing process after the implantation of production techniques Cleaner, such as chlorine, cellulosic enzyme, permanganate and others. In addition to the reduction of these inputs and wastes, an economic analysis was carried out which indicated an increase in the company's net profit of 42.66%, after the implementation of the CP process and although an investment is required for the implementation of these techniques, Company only needs two months to obtain the return of that investment, due to the reductions obtained. For the environmental impact assessment, environmental accounting was performed in emergy before and after CP. The indicator used was the UEV, where it was calculated before the CP, and found the value of $1.30E + 12 \text{ sej / kg}$ and, after application of CP, the UEV found was $2.20E + 11 \text{ Sej / kg}$. The results point to an advantage for the industry with the application of this process in both economic and environmental aspects.

Keywords: Cleaner production. Washing process. Sustainability. Textile Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Custo/benefício das abordagens ambientais	19
Figura 2 – Fluxograma de uma Indústria de confecção	29
Figura 3 – Etapas de beneficiamento-lavagem	30
Figura 4 – Setor de lavagem 1	31
Figura 5 – Setor de Lavagem 2.	31
Figura 6 – Setor de lavagem 3	31
Figura 7 – Paletas de efeitos do jeans	32
Figura 8 – Fronteiras do sistema avaliado neste trabalho, incluindo processo de lavagem do jeans <i>delavê</i> e do tratamento de efluente da Empresa Vestuário.....	33
Figura 9 – Diagrama de energia de um sistema de produção genérico	40
Figura 10 – Diagrama de Energia do sistema de lavagem de jeans <i>delavê</i> antes da implantação do processo de P+L	43
Figura 11 – Diagrama de Energia do Sistema de lavagem de jeans <i>délavê</i> após a implantação do processo de P+L	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Barreiras que podem dificultar a implementação do Programa P+L	21
Tabela 2 – Processo de lavagem délavé	33
Tabela 3 – Características do processo de lavagem avaliado	34
Tabela 4 – Símbolos para utilização nos diagramas em energia	38
Tabela 5 – Valores unitários de energia (UEVs) utilizados neste trabalho	39
Tabela 6 – Indicadores biofísicos em escala local dos sistemas avaliados	45
Tabela 7 – Tabela de avaliação em energia da fase de operação dos processos de lavagem e ETE antes da aplicação de P+L.....	46
Tabela 8 – Tabela de avaliação em energia das fases de implantação e operação dos processos de lavagem e ETE após a aplicação de P+L.....	47
Tabela 9 – Valor do Investimento da fase de implantação	49
Tabela 10 – Benefício na fase de operação do processo de lavagem após implantação de P+L.....	49
Tabela 11 – Demonstração de despesas	51
Tabela 12 – Demonstração de resultados.....	51

LISTA DE SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira de Indústria Têxtil
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
CEBDS	Comitê Empresarial Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
EIR	Razão de Investimento em Energia
ELR	Razão de Carga Ambiental
ESI	Índice de Sustentabilidade Ambiental
ETE	Estação de Tratamento de Efluente
EYR	Razão de Rendimento em Energia
F	Recursos provenientes da Economia
MPE	Micro e Pequenas Empresas
ML	Índice de Margem Líquida
N	Recursos não renováveis
PSS	Sistema de Produtos e Serviços
P+L	Produção mais limpa
R	Recursos renováveis
ROI	Índice de Retorno sobre o Investimento
seJ	joules de energia solar
SINDIVEST	Sindicato das Indústrias de Vestuário do Piauí
UNEP	United Nations Environment Programme
%R	Porcentagem de Energia Renovável
TR	Tempo de Retorno do Investimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS.....	16
3 REVISÃO DE LITERATURA	17
3.1 Produção mais Limpa e sustentabilidade	17
3.2 Avaliação multimétrica de práticas de produção mais limpa: estado da arte..	23
3.3 Indústria do vestuário no Brasil	26
4 MÉTODOS.....	30
4.1 Descrição do sistema avaliado	30
4.2 Fonte de dados.....	35
4.3 Abordagem multimétrica.....	35
4.3.1 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental em escala local.....	36
4.3.2 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental em escala global: contabilidade ambiental em emergia	36
4.3.3 Indicadores de desempenho econômico: economia neoclássica	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5.1 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental calculado pelo balanço de massa.....	44
5.2 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental em escala global: contabilidade ambiental em emergia.....	46
5.3 Avaliação econômica tradicional	48
6 CONCLUSÕES.....	54
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	55
REFERÊNCIAS.....	56
APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DA TABELA 7	61
APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DA TABELA 8.....	62

1 INTRODUÇÃO

Para a operacionalização de qualquer segmento industrial, são necessários recursos advindos do meio ambiente. Devido ao crescimento da produção industrial e, conseqüentemente, da exploração ambiental, o planeta está com recursos cada vez mais escassos, e sua capacidade de diluir resíduos originados pelo ramo industrial encontra-se minimizada.

É diante desse cenário que as indústrias iniciam discussões acerca de novas alternativas de produção. Isso mostra que a sustentabilidade se configura temática de destaque para o segmento, onde, atualmente, a procura por alternativas de produção capazes de gerar menos resíduos e utilizar menos recursos naturais é contínua.

A necessidade de reduzir custos de produção e aumentar a eficiência e a competitividade dessas empresas vem ao encontro de adoção e implantação da produção mais limpa, que também contribui para a redução de multas e penalidades por poluição, facilita o acesso às linhas de crédito, melhora as condições de saúde e de segurança do trabalhador, fortalece a imagem da empresa perante os seus consumidores, fornecedores e poder público, melhora o relacionamento com os órgãos ambientais e com a comunidade, além de proporcionar maior satisfação aos clientes (UNEP, 2002).

Segundo Pimenta (2007), a Produção mais Limpa (P+L) é considerada uma ferramenta favorável para atuação das empresas de forma preventiva em relação aos seus aspectos ambientais, pois minimiza os impactos associados à: a) redução de custo; b) otimização de processos; e c) recuperação e melhor aproveitamento do uso de matérias-primas e energia. Assim, de forma geral, há um ganho de produtividade, a partir de um controle ambiental preventivo.

A P+L é entendida como uma estratégia preventiva, integrativa e continuada, aplicada a serviços, processos e produtos, a qual busca uma redução de riscos ao homem e à natureza, ou seja, um procedimento alternativo que traz resultados de proteção ambiental, com vantagens técnicas e econômicas cuja prioridade de implantação está baseada na origem da geração de resíduos, buscando soluções nos processos produtivos da empresa (PIMENTA, 2017).

Segundo o Comitê Empresarial Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (CEBDS, 2008), a P+L, com seus elementos essenciais, adota uma abordagem

preventiva em resposta à responsabilidade financeira adicional trazida pelos custos de controle da poluição e dos tratamentos de “fim de tubo”, assim como auxilia as empresas a adotarem práticas de fabricação por meio de um novo conceito de produção e consumo (HINZ; VALENTINA; FRANCO, 2006).

As Tecnologias Fim de Tubo são as tecnologias utilizadas para o tratamento e inertização de resíduos, efluentes e emissões. Essas tecnologias são muito utilizadas nas empresas. Caracterizam-se como Tecnologias Fim de Tubo os filtros de emissões atmosféricas, as estações de tratamento de efluentes líquido (ETE) e as tecnologias de tratamento de resíduos sólidos. Diferentemente da Produção Mais Limpa, que atua na prevenção da poluição, as Tecnologias Fim de Tubo visam a remediar os efeitos da produção, ou seja, depois que a poluição foi gerada no processo produtivo (MELLO; NASCIMENTO, 2002).

Segundo Hinz et al. (2006), a P+L constitui-se uma estratégia aplicada na produção e nos produtos com a finalidade de economizar e maximizar a eficiência do uso de energia, matérias-primas e água. Há, ainda, o objetivo de minimizar ou reaproveitar resíduos gerados. Na maioria das vezes, possui procedimentos simples e econômicos, podendo chegar a um grande número de empresas. Ao ser considerada toda a cadeia de produção, os resultados podem ser ainda mais promissores.

A Produção Mais Limpa (P+L) objetiva minimizar a poluição durante o processo de produção, não no final. Os resíduos gerados pela empresa representam dinheiro, além de proporcionarem gastos com insumos como água e energia. Uma vez gerados, continuam a utilizar dinheiro, seja sob a forma de gastos de tratamento e armazenamento, seja sob a forma de multas pela ausência de cuidados ambientais, ou ainda pelos danos gerados à imagem e à reputação da empresa.

Moura et al. (2005) ressaltam a existência de uma grande relutância para prática da Produção Mais Limpa. Seus maiores obstáculos ocorrem em função da resistência à mudança, da concepção errônea (falta de informação sobre as técnicas e a importância dada ao ambiente natural), da não existência de políticas nacionais que deem suporte às atividades de produção mais limpa e das barreiras não só econômicas (alocação incorreta dos custos ambientais e investimentos) como também técnicas (novas tecnologias).

Segundo dados da Associação Brasileira de Indústria Têxtil (ABIT, 2013), o Brasil possui uma das últimas cadeias têxteis completas do Ocidente, pois se

produzem desde as fibras até às confecções. O setor reúne mais de 32 mil empresas, das quais mais de 80% são confecções de pequeno e médio porte em todo o território nacional, empregando cerca de 1,7 milhões de brasileiros, sendo que 75% são funcionários do segmento de confecção e, em sua maioria, mulheres.

A partir da criação da Lei nº 4.854, de 10 de junho de 1996, que instituiu a política Estadual do Meio Ambiente, as empresas do Piauí passaram a adotar práticas menos agressivas ao meio ambiente, o que as tornou (as empresas) mais competitivas dentro de um mercado consumidor cada vez mais exigente.

Analizando a indústria da moda no estado do Piauí, de acordo com entrevista realizada com o Presidente do Sindicato das Indústrias de Vestuário do Piauí (SINDIVEST, 2016), há 1.147 indústrias de confecção de moda no estado. A cada mês, essas empresas fabricam cerca de 597 mil peças, movimentando mais de R\$ 204 milhões ao ano. Em relação à quantidade de empregos gerados, estes somam mais de 18 mil cargos ocupados. O crescimento econômico do setor no Piauí é notável, porém os aspectos relacionados aos impactos ambientais ainda não são discutidos e não são prioridades do setor (ARAGÃO; FERREIRA, 2015).

Em relação ao cenário da produção de vestuário, o debate acerca de novas práticas em desenvolvimento sustentável torna-se essencial. Isto por que, nesse segmento, os resíduos gasosos, líquidos e sólidos são considerados extremamente poluentes. É importante ressaltar que tais resíduos são descartados, em sua maioria, sem quaisquer tratamentos. As empresas devem tratar seus resíduos para evitar maiores problemas para a sociedade, como prevê a legislação (CONAMA, 2002). Os efluentes líquidos provenientes dos estabelecimentos prestadores de serviços da indústria, para serem lançados na rede pública de esgoto ou em corpo receptor, necessitam cumprir as diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e de saneamento competentes.

A indústria do vestuário é geradora de resíduos, principalmente no processo de lavagem, o que justifica a escolha da lavanderia industrial para o estudo de caso. Particularmente para este trabalho, a empresa buscou e implementou P+L no seu setor de lavagem, visando reduzir custos com material e energia (inputs) e tratamento de resíduos (outputs). Todavia, a própria implementação e operação de P+L demanda recursos materiais e energéticos e, às vezes, esses custos são reincorporados na própria empresa devido à economia gerada pela inserção da P+L.

A indústria de vestuário contribui substancialmente para a transferência de renda e para a geração de empregos no Estado (SEBRAE, 2015). Isso se torna mais importante ainda, quando se analisa a atual conjuntura econômica brasileira. Pretende-se, portanto, com o presente trabalho, propiciar maiores discussões acerca das práticas de P+L, especificamente na área de vestuário.

Este trabalho avalia a relação custo-benefício da implantação e operação da P+L na empresa. Qual o custo-benefício econômico e ambiental do processo da lavanderia industrial em Teresina? Quais os benefícios da aplicação de técnicas de P+L na indústria do vestuário? Nesse sentido, este trabalho objetiva avaliar se as práticas de P+L aplicadas na empresa de vestuário considerada como estudo de caso trazem mais benefício do que a prática tradicional.

É importante mencionar que, a despeito das inúmeras possibilidades de métodos disponíveis, este trabalho considera as escalas local e global de avaliação, além de indicadores econômicos e biofísicos. Dessa forma, é utilizada uma abordagem multimétrica para avaliar o custo-benefício.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Utilizar uma abordagem multimétrica para estudar a viabilidade econômica e ambiental da implantação de práticas de produção mais limpa (P+L) no processo de lavagem de uma indústria do setor de vestuário.

2.2 Objetivos específicos

- a) Entender e descrever o processo de funcionamento de uma indústria de vestuário com foco no setor de lavagem.
- b) Descrever as práticas de P+L implementadas pela indústria do setor de vestuário considerada como estudo de caso.
- c) Realizar uma análise econômica e ambiental no setor de lavagem estudado, sendo que na avaliação ambiental utilizar a métrica da contabilidade ambiental em energia e o balanço de massa.
- d) Realizar uma discussão crítica dos indicadores econômicos e ambientais encontrados, apontando vantagens e desvantagens da implementação das práticas de P+L no setor de lavagem.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Produção mais Limpa e sustentabilidade

Na década de 1980, foi criada pela Assembleia Geral das Nações Unidas a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD). A presidência da Comissão fora ocupada por Gro Harlem Brundtland que, em 1987, lançou o relatório *Nosso Futuro Comum* (conhecido também como Relatório Brundtland). Segundo esse relatório, a sustentabilidade é definida como a capacidade de atender as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades (GOLDEMBERG, 2015).

A estratégia do desenvolvimento sustentável é promover a harmonia entre os seres humanos e a natureza. A busca por um desenvolvimento sustentável necessita de: a) um sistema político que permita aos cidadãos participação no processo decisório; b) um sistema econômico confiável e seguro; c) um sistema social capaz de resolver problemas relativos à falta de desenvolvimento não equilibrado; d) um sistema de produção que preserve o meio ambiente; e) um sistema tecnológico que promova novas soluções; f) um sistema administrativo flexível (CMMAD, 1998).

Schenini (1999) lembra que, para cada ator social, há perspectivas próprias a fim de se abordar o Desenvolvimento Sustentável. As instituições governamentais devem planejar e executar políticas, normas, decretos, leis, multas, entre outras; à comunidade e às Organizações não Governamentais cabe identificar, executar e fiscalizar o processo sistêmico; e as organizações devem agir de forma a minimizar e recuperar os estragos já realizados, prevenindo futuros impactos. Em relação às organizações, podem ser consideradas ações sustentáveis: adequação à legislação ambiental; responsabilidade social; e uso de tecnologias limpas.

Silva (2003) afirma que a Produção mais Limpa configura-se como uma ferramenta com característica preventiva, que, aplicada à Gestão Ambiental, possibilita à empresa funcionar de forma ambiental e socialmente correta, além de obter melhorias econômicas e tecnológicas. Para Lemos (1998), o conceito de Produção mais Limpa começou a surgir exatamente para combater o desperdício de matérias-primas e de energia, que ocorrem, geralmente, pela intensa geração de

resíduos e emissões. As tecnologias de Produção mais Limpa têm a finalidade de reduzir todo tipo de rejeitos antes que sejam produzidos. Para tanto, podem ser necessárias mudanças nos produtos e/ou em seus processos de produção, por meio da redução da necessidade de insumos para um mesmo nível de produção, ou pela redução da poluição resultante do processo de produção, distribuição e consumo (OLIVEIRA, 2001).

Segundo a United Nations Environment Programme (UNEP, 2002), Produção Mais Limpa (PML ou P+L) é a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eco eficiência e reduzir os riscos para o homem e para o meio ambiente.

Fernandes et al. (2001) definem P+L da seguinte forma:

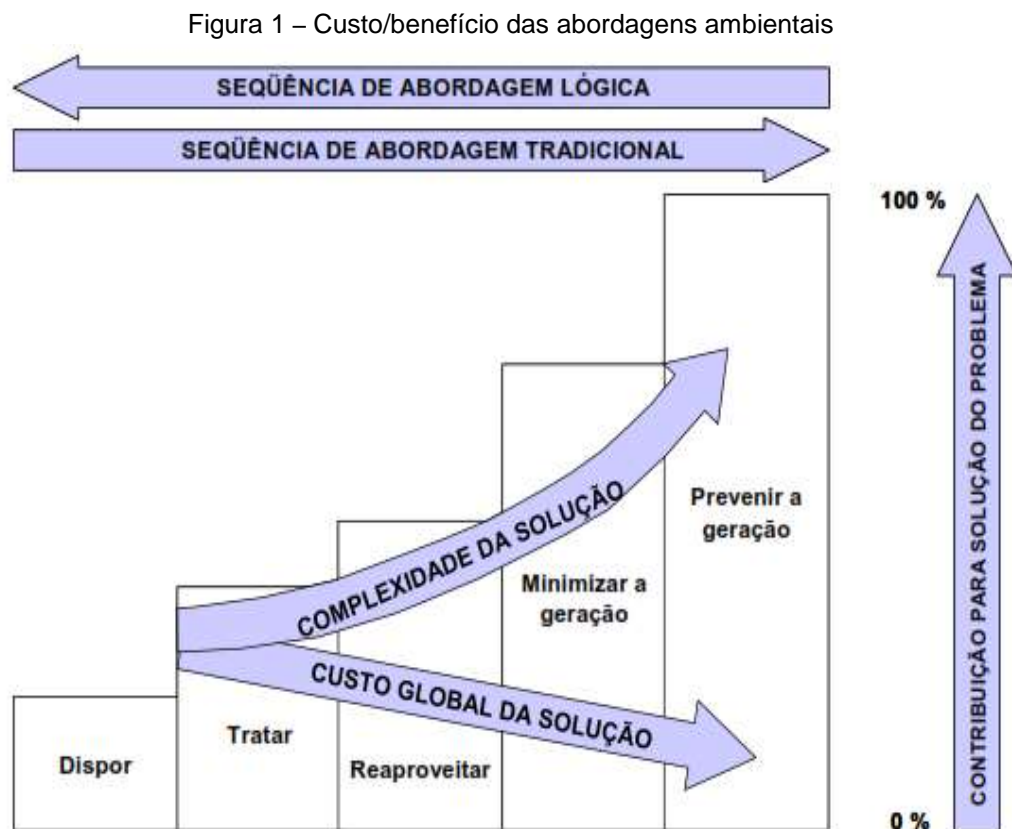
[...] a aplicação contínua de uma estratégia econômica, ambiental e tecnológica integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem de resíduos gerados em um processo produtivo. Produção Mais Limpa também pode ser chamada de Prevenção da Poluição, já que as técnicas utilizadas são basicamente as mesmas (FERNANDES et al., 2001, p.158).

De acordo com Furtado (2000), a P+L baseia-se em quatro princípios básicos que norteiam os rumos para o desenvolvimento de uma produção que possa ser considerada "limpa":

- a) Princípio da precaução: objetiva evitar doenças irreversíveis para os trabalhadores e danos irreparáveis para o planeta.
- b) Princípio da prevenção: consiste em substituir o controle de poluição pela prevenção da geração de resíduos na fonte, evitando a geração de emissões perigosas para o ambiente e o homem, ao invés de remediar os efeitos de tais emissões.
- c) Princípio do controle democrático: pressupõe o acesso a informações sobre questões que dizem respeito à segurança e uso de processos e produtos, para todas as partes interessadas, inclusive as emissões e os registros de poluentes, planos de redução de uso de produtos tóxicos e dados sobre componentes perigosos de produtos.
- d) Princípio da integração: apresenta visão holística do sistema de produção de bens e serviços, com o uso de ferramentas como a Avaliação do Ciclo-de-Vida do produto (ACV).

Com base nesses princípios, a P+L diferencia-se do conceito de “final de tubo”, por tentar prevenir o aparecimento do problema ao invés de tentar resolvê-lo após seu surgimento, seguindo uma postura que melhor contribua para a proteção ambiental.

A Figura 1 representa a diferença entre os conceitos “final de tubo” e P+L, descrevendo a maneira de solucionar os problemas de geração de resíduos nas empresas. A P+L age na prevenção da geração, sendo a única que exerce uma contribuição de 100% para a solução dos problemas ambientais, cedendo para outras alternativas (na figura, seguindo da direita para a esquerda), quando não houver condições para tal. A abordagem tradicional segue em sentido contrário, por meio da adoção de alternativas menos eficazes e de maiores custos (nota-se que a prevenção para essa abordagem é a última alternativa).



Fonte: Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL (2001).

A P+L aponta para a economia de matéria-prima e energia, a redução do uso de materiais poluentes e a reutilização de água e produtos químicos, diminuindo os impactos ao meio ambiente. As vantagens da P+L, comparada com as tecnologias convencionais de fim-de-tubo, são as seguintes (CNTL, 2003): redução da

quantidade de materiais e energia usados; exploração do processo produtivo com a minimização de resíduos e emissões, induzindo a um processo de inovação dentro da empresa; visualização do processo como um todo, minimizando os riscos na disposição dos resíduos e nas obrigações ambientais; caminho para um desenvolvimento econômico mais sustentável, por meio da minimização de resíduos e emissões.

De acordo com dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT, 2016), o faturamento da Cadeia Têxtil e de Confecção alcançou US\$ 36,2 bilhões, e os investimentos no setor foram de US\$ 749 milhões. A produção média foi de 5,5 bilhões de peças, gerando 1,5 milhões de postos de trabalho diretos e 6,5 milhões de postos de trabalho indiretos.

Analisando esses dados da indústria, justificam-se as pesquisas no setor, devido a sua representatividade para a economia do país.

Conforme Silva (2002), a cadeia têxtil produtiva tem importância significativa na economia e no comércio mundial, por ser responsável por um grande número de empregos. No entanto, a globalização tem exigido das empresas um novo padrão de gestão. Em se tratando da indústria do vestuário, compreendendo a última etapa da cadeia têxtil produtiva, as exigências são ainda maiores. Isso ocorre porque esse tipo de indústria se caracteriza pela grande variedade de matéria prima utilizada, proporcionando alta heterogeneidade de produtos ofertados que, normalmente, estão ligados ao fenômeno efêmero, que é a moda.

Para Chiu (1999, p. 92, apud VIEIRA, 2016, p. 75), apesar da vasta gama de benefícios da P+L, certo número de fatores pode inibir a implementação do Programa por parte de pequenas e médias empresas. A Tabela 1 apresenta a classificação e a descrição dessas possíveis barreiras.

Como mostra a Tabela 1, alguns fatores podem impedir ou retardar a implantação de P+L nas MPE, como investimento, sistema gerencial inadequado, falta de tecnologia, falta de treinamento para os funcionários, dentro outros.

Todos os fatores demandam custos, o que inviabiliza a implantação de um sistema, embora este possa proporcionar retorno.

O governo também não tem políticas de incentivo para essa modalidade empresarial, quanto a valores cobrados nos seguintes itens: energia elétrica, água, aquisição de equipamentos e percentuais de impostos.

Tabela 1 – Barreiras que podem dificultar a implementação do Programa P+L

Classificação	Descrição das barreiras
Econômica	<ul style="list-style-type: none"> • Indisponibilidade de fundos e custos elevados destes. • Falta de política com relação aos preços dos recursos naturais. • Não incorporação dos custos ambientais nas análises de investimento. • Planejamento inadequado dos investimentos. • Critério de investimento “<i>Ad hoc</i>”, pela restrição de capital. • Falta de incentivos fiscais relativos ao desempenho ambiental.
Sistêmica	<ul style="list-style-type: none"> • Carência ou falha na documentação ambiental. • Sistema de gerenciamento inadequado ou ineficiente. • Falta de treinamento dos funcionários.
Organizacional	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de envolvimento dos funcionários. • Excessiva ênfase na quantidade de produção em detrimento da minimização dos problemas ambientais. • Concentração das tomadas de decisão nas mãos da alta direção. • Alta rotatividade dos técnicos. • Ausência de motivação dos funcionários.
Técnica	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de recursos necessários à coleta de dados. • Recursos humanos limitados ou indisponíveis. • Limitação ao acesso de informações técnicas. • Limitação de tecnologia. • Déficit tecnológico. • Limitação das próprias condições de manutenção.
Comportamental	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de cultura em “melhores práticas operacionais”. • Resistência a mudanças. • Falta de liderança. • Supervisão deficiente. • Trabalhos realizados com o propósito de manutenção do emprego. • Medo de errar.
Governamental	<ul style="list-style-type: none"> • Política inadequada de estabelecimento de preço da água. • Concentração de esforços no Controle “Fim-de-tubo”. • Mudanças repentinas nas políticas industriais. • Falta de estímulo para atuar na minimização da poluição.
Outras barreiras	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de apoio institucional. • Falta de pressão da sociedade para a prevenção da poluição. • Limitação de espaço nas empresas para a implementação de medidas de minimização de resíduos. • Presença de variações sazonais.

Fonte: UNEP (2002).

Com relação ao consumo de água e energia, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB, 2002) realizou uma avaliação do consumo de energia e água em cinco empresas que atuam no ramo de semijoias. A adoção dessas medidas resultou em ganhos ambientais e econômicos, pois houve redução de consumo de água utilizada na lavagem por quilograma de peça produzida: de 236 para 98 litros, indicando uma economia de 138 litros. A utilização de técnicas de P+L possibilitou a redução de 58,4% da água utilizada para lavagem de peças.

Zamcopé (2009) construiu um modelo para avaliação da sustentabilidade corporativa, considerando a necessidade de a empresa buscar a longevidade de seu negócio. Foi desenvolvido um estudo de caso em uma indústria têxtil paranaense de

médio porte, utilizando como instrumento de intervenção a Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista. Essa abordagem possibilita identificar um conjunto de indicadores de desempenho que caracterizam a sustentabilidade da empresa e mensurar o grau de alcance das propriedades analisadas da organização quanto ao seu compromisso com a sustentabilidade, tanto individual, quanto globalmente.

Após a análise dos autores anteriormente citados, é importante mencionar os resultados encontrados em cada trabalho. Zamcopé (2009) buscou, em sua pesquisa, entender como pode ser identificado um conjunto de indicadores de desempenho que caracterizem a sustentabilidade da empresa. Diante desse panorama, a partir do estudo de caso abordado, foi possível a criação de um modelo para avaliar a Sustentabilidade Corporativa. O modelo criado possibilitou compreender que a estratégia da empresa é considerar todos os critérios das áreas econômica, social e ambiental.

Silva (2016) avaliou não só se a implantação de práticas de P+L tem efeitos positivos ou negativos no desempenho econômico, ambiental e operacional das empresas no setor têxtil brasileiro, como também quais as práticas mais usadas de P+L. A partir dos resultados, concluiu-se que a adoção de práticas de P+L pelo setor têxtil brasileiro gera impacto positivo no desempenho econômico, visto que os custos com a matéria prima são minimizados devido à redução de desperdício, ao melhor aproveitamento dos insumos, à minimização do consumo de água e energia, seleção de equipamento para a produção, reutilização ou reciclagem de materiais, correta movimentação de materiais e forma como a capacitação de pessoal impacta no resultado financeiro da Indústria têxtil nacional.

Além disso, ao aplicar metodologia proposta em seu trabalho, a indústria têxtil destacou que a adoção de práticas de P+L gera benefícios em três âmbitos: econômico, ambiental e operacional, sendo este último o mais importante. Em relação à geração de impacto, este é positivo no desempenho operacional, devido às melhorias na condição de trabalho, à conscientização das questões ambientais, dentre outros.

Ortolano et al. (2014) consideraram a avaliação de desempenho da empresa que adotou práticas de P+L em conjunto com a ISO 14001 numa indústria têxtil de curtume de couro no Paquistão. Constatou-se, aqui, a economia no consumo de água, energia elétrica, materiais, produtos químicos e gás. Os resultados mostram

que a abordagem multimétrica da ISO 14001 mais práticas de P+L têm impacto positivo para o desenvolvimento ambiental.

Dessa maneira, indica que a aplicação das práticas de P+L pode contribuir para o desenvolvimento econômico e ambiental, além de fortalecer novas ideias importantes não apenas no âmbito industrial, como, também no social.

3.2 Avaliação multimétrica de práticas de produção mais limpa: estado da arte

A metodologia da P+L é abordada em vários trabalhos para avaliar potenciais reduções nos impactos socioambientais, melhorando os aspectos econômicos e aumentando a produtividade e competitividade dos mais diferentes sistemas de produção.

No setor de alimentação, destaca-se Lemos (1999), que aplicou estratégias de Produção Mais Limpa na produção de arroz irrigado como forma de começar a adequar-se aos novos padrões de produtos saudáveis. Essa atitude não só gerou menos resíduos, o que é exigido pelo mercado consumidor, como também contribuiu para a geração de inovações e de competitividade para a empresa. Os resultados indicam que a empresa, quando começa a preocupar-se com os aspectos ambientais e a adotar estratégias de Produção Mais Limpa, participa de um processo de melhoria contínua, que propicia o surgimento de inovações em todos os sentidos (processo, produto e gerência). A principal conclusão é que a P+L facilitou o surgimento de inovações e que essas inovações facilitaram maior competitividade do sistema de produção.

Pimenta (2007) avaliou a implementação de um programa de P+L em uma pequena empresa do setor de panificação em Natal, RN. Os resultados apontam que a empresa obteve uma redução de custos de fabricação do pão francês em 14%, além da redução de *lead time*, movimentações e inspeções. Observou-se, também, uma redução na demanda de água e materiais em 10%, energia (5%) e menor geração de resíduos sólidos (30%). Adicionalmente, com os treinamentos e envolvimento dos funcionários foi evidenciada uma incorporação de uma cultura ambiental na empresa, com a adoção de condutas mais racionais. Inicialmente, implantara-se um balde com demarcações para a mensuração da água, visto que ocorria, antes, uma perda significativa de produtividade. Essa perda se devia ao procedimento intuitivo de medição. Em seguida, quanto ao uso da energia, houve a

busca pela padronização do tempo de uso, para evitar a utilização de vários equipamentos ao mesmo tempo. Em relação à perda de materiais, houve redução, tendo em vista a troca de determinado tipo de farinha, possibilitando mais eficiência.

Domingues et al. (2009) analisaram as oportunidades para a integração da dimensão ambiental em um grupo de empresas do Polo Joalheiro de São José do Rio Preto, em São Paulo. A análise considerou a Produção mais Limpa como abordagem e ferramenta de gestão ambiental particularmente adequada para empresas de menor porte, podendo convergir com esforços de inovação tecnológica para, desse modo, constituir uma alternativa para a efetivação de melhoria no desempenho ambiental. Por meio de uma pesquisa qualitativa de caráter exploratório, verificou-se que os esforços de atualização tecnológica realizados no polo joalheiro, analisados com base na P+L, permitem a obtenção de benefícios ambientais, econômicos, de saúde e segurança ocupacional a partir da redução no consumo de matérias-primas, água e energia, bem como a redução na geração de resíduos e nas emissões, levando em conta as especificidades e a dinâmica tecnológica setorial em micro e pequenas empresas (MPE).

Alves e Oliveira (2007) aplicaram técnicas de P+L como uma metodologia que auxilia as indústrias a obterem uma boa gestão ambiental no processo de usinagem. Os resultados mostram que o processo de usinagem pode ser menos agressivo ao meio ambiente por meio da redução da demanda dos fluidos de corte ou de uma boa manutenção destes. A metodologia está baseada na identificação de opções de não geração dos resíduos produzidos nesses processos produtivos.

Dumke et al. (2007) estudaram o desenvolvimento de um programa ambiental na resolução dos problemas existentes em uma empresa fabricante de embalagens de papel localizada no Estado de Pernambuco. Pela avaliação ambiental, verificou-se que, com a implantação desse estudo, seria possível minimizar a geração de resíduo do material utilizado na proteção das folhas cortadas. A eliminação dos resíduos se dá com a substituição do filme por uma capa plástica reutilizável, confeccionada com os resíduos plásticos provenientes das bobinas de papel-cartão. Esse programa proporcionou uma estrutura mais adequada aos funcionários, com a redução do tempo de mão de obra para sua colocação, e uma melhora nas condições ergonômicas daquele que é responsável pela atividade.

Segundo Alano et al. (2013), o sistema de produto-serviço (PSS) tem sido tratado pela gestão de *design* a partir de modelos que se caracterizam como

soluções completas e integradas de bens e serviços. Ações sustentáveis podem ser identificadas a partir do reprocessamento de produtos, prolongando o seu tempo de vida, além de evitar o descarte prematuro e a geração de resíduos. Dessa maneira, a moda, tendo a efemeridade como sua principal característica, exerceria um sistema de PSS, contribuindo com a transformação do produto. Vários processos poderiam ser utilizados para essas mudanças, como tingimento, lavagens, costuras e bordados. É possível, desse modo, agregar valor aos produtos, por meio das modificações propostas com novos materiais.

Moraes (2005) realizou uma análise usando como métrica econômica e a energia solar, a implantação e operação de estações de reciclagens nos processos de um curtume. Os diferentes resíduos presentes nos efluentes líquidos dos curtumes apresentam valores variáveis em função das diferentes técnicas operacionais, dos equipamentos, das matérias-primas utilizadas e dos produtos finais obtidos. Dois cenários foram considerados na avaliação da estação de tratamento de efluentes líquidos. No cenário 1, não há estações de reciclagens, englobando-se aos processos do curtume, e, no cenário 2, encontram-se as estações de reciclagens nas operações. Com a utilização da análise emergética, verificou-se a quantidade de energia solar requerida, direta e indiretamente, em cada estação de tratamento de efluentes. Esses cenários possibilitaram uma discussão dos benefícios gerados (considerando a valoração por moeda e por energia) para as unidades de reciclagem. Os resultados apontaram que os benefícios financeiros são consideráveis. Nesse sentido, os valores para operar a unidade de reciclagem de caleiro (R\$ 28.308,00 ao ano) e para implantar a unidade (R\$ 197.493,00), quando somados, representam montante a $\frac{1}{4}$ (um quarto) do total de economia na quantidade de produtos químicos e água (R\$ 1.073.350,98 ao ano). Isso significa que o gasto com as técnicas de P+L corresponde a valor inferior a 25% do total economizado.

Pereira (2003) configurou como objeto de estudo uma indústria de Cerâmica Esmaltada, localizada em Pernambuco. O autor justifica a sua escolha devido ao potencial poluidor dessa indústria. Com essa aplicação de P+L, ocorreu uma economia de 15% do consumo de gás metano. Essa economia representou um benefício econômico anual de, aproximadamente, R\$ 341.000,00.

Queiroz et al. (2011), estudando uma indústria têxtil, destacou o processo Fenton na degradação de um corante, denominado Vermelho Congo. Os resultados

foram positivos: a chamada Demanda Química de Oxigênio (DQO), responsável por avaliar a quantidade de oxigênio em meio ácido que leva à decomposição de poluente, reduziu-se em 96,75%, tendo o cenário anterior à aplicação como referência.

A pesquisa desenvolvida por Souza et al. (2009) consiste em um relatório especificando a experiência realizada para o desenvolvimento e validação de uma metodologia com base nos conceitos de P+L. Para tanto, participaram do trabalho 23 empresas. Os indicadores monitorados no projeto foram: consumo de matéria prima, consumo de água, e, por fim, geração de carga inorgânica no efluente líquido.

Figueiredo (2014) teve como objetivo a implantação do programa de P+L associada à produção de bebida láctea fermentada de bandeja em relação ao uso racional da água. O resultado final foi a redução de 20% no consumo da água após práticas de Produção Mais Limpa.

Levando em consideração os resultados positivos dos estudos de caso analisados, destaca-se a importância da aplicação das práticas de P+L. Essa importância se sobrepõe aos benefícios econômicos, visto o benefício ambiental que pode-se alcançar com a implantação da P+L.

3.3 Indústria do vestuário no Brasil

A indústria do vestuário, uma das mais antigas e tradicionais no Brasil, remonta ao século XIX e é um dos marcos do início da industrialização no País. Esse ramo se constitui como o segundo maior empregador da indústria de transformação, perdendo apenas para alimentos e bebidas. É, também, o segundo maior gerador do primeiro emprego, chegando a ter 33 mil empresas formais em todo o País, tornando-se o quarto maior parque produtivo de confecção e o quinto maior produtor têxtil do mundo (PEREIRA et al., 2015).

De acordo com Lorenzi (2007), afirma-se que o setor têxtil teve um crescimento de 1,80% em 2008 e 2009, podendo-se considerar este setor fundamental para a economia do país.

Conforme a Associação Brasileira de Indústria Têxtil (ABIT, 2008), o Brasil é um dos cinco principais produtores de confecção, bem como está listado como um dos dez maiores parques fabris, estando em segundo lugar como principal fornecedor de jeans e o terceiro de malha.

No Brasil, as indústrias de confecção sofreram grandes mudanças em vários setores: produção, modernização, matérias primas, melhoria de qualidade, racionalização de energia, projeto de produto. Essas mudanças objetivam reduzir custos para aumento da competitividade no mercado.

Segundo Locatelli (2016), as mudanças tecnológicas indicam as novas perspectivas da indústria em diferentes escalas. No entanto, o aspecto organizacional de uma empresa de pequeno, médio ou grande porte, está intrinsecamente ligado ao relacionamento com seus colaboradores.

Devido ao aumento da competitividade entre as empresas, surgiu a necessidade de buscar novas alternativas para viabilizar a produção. Dentre elas, destaca-se a terceirização. Esta, por sua vez, ajuda a reduzir os custos de fabricação, assim como possibilita agilizar o processo produtivo da empresa, uma vez que a mesma se utiliza dos serviços de terceiros para a eliminação de possíveis problemas e, conseqüentemente, aumento de produtividade (PATRÍCIO, 2009).

Uma maneira de aumentar a produtividade é a implementação da manufatura enxuta, como um método potencial para se diminuir custos por meio da eliminação de desperdícios e maior flexibilidade da produção. A adoção dessas práticas enxutas está sendo adaptada em vários tipos de processos, proporcionando um conjunto de vantagens às indústrias, gerando menor custo de produção e maior competitividade no mercado. Para Filho (2007), os componentes mais sensíveis dessas transformações são o deslocamento da produção devido aos custos operacionais; o endurecimento da concorrência; a redução do ciclo de vida dos produtos de moda; o incremento veloz das tecnologias e modificações complexas na estrutura dos mercados.

Segundo Silva (2002), no processo produtivo, é necessário o uso de novas tecnologias; no entanto, a tecnologia utilizada nesse setor, em termos de maquinário, é muito parecida na grande maioria das empresas. Todavia, há grande dependência da habilidade da mão de obra para um melhor aproveitamento dessas máquinas.

Para Rech (2016), o termo cadeia produtiva da moda expressa o sistema têxtil e de confecção que se configura como uma *filière*, governada pelo comprador e caracterizada por elevado grau de competitividade, da qual depende boa parte do sucesso que o produto obtém no mercado. Nesse cenário da cadeia produtiva da

indústria têxtil, estudos apontam a necessidade de aplicações de novas técnicas de produção que auxiliem na implantação de produtos mais sustentáveis.

Dessa forma, Faria, Pacheco (2011) indicam que a P+L poderia ser considerada como uma opção para gestão ambiental de empresas da área têxtil. Procura-se abordar a relevância e aplicabilidade do tema para auxiliar os profissionais da área a minimizarem o consumo de insumos como água, energia e produtos químicos, bem como a geração de resíduos e efluentes na fonte.

Para Schulte, Lopez (2016), o consumidor, a indústria, o criador de novos produtos, entre outros, todos têm papéis determinantes na consolidação do paradigma do desenvolvimento ambientalmente sustentável. Os impactos ambientais devem ser considerados em todas as etapas nos projetos de novos produtos, da origem da matéria prima até o descarte pelo consumidor. O desenvolvimento sustentável é um grande desafio para a indústria do vestuário de moda, pois o ciclo de vida muito curto desse produto e o apelo ao consumismo representam problemas que devem ser considerados e superados.

Conforme dados da Associação Brasileira de Indústria Têxtil (ABIT, 2016), a produção média de confecção no Brasil vem crescendo nos últimos anos. Esse crescimento é perceptível pela análise do total de peças produzido: em 2015, foram confeccionadas 6,7 bilhões de peças (vestuário+meias e acessórios+cama, mesa e banho), número superior à produção de 2014, em que foram produzidas 6,1 bilhões. No Piauí, a empresa estudada se destaca como a maior do setor, devido à grande quantidade de peças produzidas por mês, justificando-se a escolha desse estudo de caso. Para atender aos objetivos científicos deste trabalho, a empresa avaliada como estudo de caso será chamada de “Empresa Vestuário”.

A instalação, em 1975, da Empresa Vestuário avaliada possibilitou treinamento industrial para a população que se localizava próxima à fábrica, já que profissionais capacitados na área eram escassos no estado do Piauí. Caracterizou-se como uma espécie de “escola” e muitos desses profissionais, algum tempo depois, iniciaram o desenvolvimento de suas próprias confecções, levando a experiência e o conhecimento adquiridos na indústria. Isso proporcionou grande crescimento no setor de confecção de moda em relação a outros setores dentro da economia do estado.

Essa empresa foi a primeira a ter uma lavanderia industrial. Entretanto, inicialmente, utilizava processos que possibilitavam somente a maciez do tecido.

Apenas em 1980, a lavanderia começa a adotar processos como estonagem, gomagem, tintura, considerados como um fator diferenciador dos produtos. Na medida em que se especializava mais no setor, era possível atender a uma demanda maior, produzindo-se em larga escala.

Em 2016, a Empresa Vestuário possuía 780 empregos diretos, dispostos em todos os setores de uma confecção, quais sejam: a) criação; b) modelagem; c) pilotagem d) corte; e) montagem; f) beneficiamento; g) acabamento; h) expedição, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de uma Indústria de confecção



O processo inicia-se pelo setor de criação. A equipe é responsável pela pesquisa de materiais adequados e por novas formas e caimentos, a fim de alinhar o desejo de consumo do seu público alvo aos produtos criados. Posterior a essa etapa, segue-se o processo com o setor de modelagem, em que a equipe irá dar forma a todos os modelos criados pelo setor anterior. O modelista planifica as dimensões das medidas para que a roupa apresente o caimento desejado pela equipe de planejamento de produto. Prosseguindo-se, tem-se o corte, em que se deve planejar o enfiesto do tecido e encaixe das modelagens, para que se possa minimizar o desperdício de matéria-prima. Ocorre, enfim, o corte das peças. Logo após, as peças são encaminhadas para o setor de separação. É nessa etapa que acontece a preparação de todas as partes dos produtos e estes se direcionam para o setor de montagem, onde ganham forma e são costurados. Depois de montadas, as peças são direcionadas para o setor de beneficiamento, que inclui lavagem, bordado, dentre outros. É nesse momento que o tecido irá modificar-se.

4 MÉTODOS

4.1 Descrição do sistema avaliado

Este trabalho é focado no setor de lavanderias industriais, com ênfase no processo de lavagem *Délavê*. Aqui as peças passam por modificações de maciez, cor, gomagem, aplicação de resinas, entre outros processos. Tais processos possuem uma característica bastante singular: são necessários muitos produtos químicos e água para a obtenção dos resultados esperados. A alta demanda de recursos energéticos e materiais, além dos efluentes gerados com elevada carga residual por esse setor, justificam sua escolha como foco neste trabalho.

A etapa de beneficiamento é subdividida em diversas outras atividades, conforme ilustra a Figura 3. O processo de lavagem, especificamente a lavagem *délavê*, inicia-se com a separação das peças por tipo de clareamento desejado, colocando cada acabamento em um tipo de máquina diferente. A primeira etapa realizada é o *destroyd*, ou seja, o processo de lavagem com pedras. Posterior a essa etapa, as peças passam por uma aplicação de enzimas, que vão dar o clareamento ao produto, inerente a esse tipo de lavagem. Concluída essa etapa, as peças passam por um amaciamento para melhorar o toque do tecido para o consumidor. As Figuras 4, 5 e 6 ilustram os processos nos setores de lavagem.

Figura 3 – Etapas de beneficiamento-



Figura 4 – Setor de lavagem 1



Figura 5 – Setor de Lavagem 2.



Figura 6 – Setor de lavagem 3



O setor de Lavanderia Industrial recebe as peças prontas, onde são montadas no setor de costura, nele, as peças irão o receber acabamento no tecido, efeitos, maciez no toque, dentro outros, onde passam por trabalhos manuais e em máquinas.

Ao chegarem ao setor de lavagem, as peças são separadas por tipo de acabamento desejado. Em seguida, inicia-se a lavagem propriamente dita. Para chegar ao resultado desejado, essas peças passam por seis enxágues, utilizando seis águas diferentes (ou até mais), dependendo do processo. Usualmente, essa água não é reaproveitada em nenhuma etapa, sendo, portanto, totalmente descartada.

Essas lavagens podem utilizar somente água e químicos, como insumos, mas, dependendo do resultado esperado, podem-se utilizar pedras, lixas, amarrações, fitas de nylon, entre outros acessórios. Após os seis processos de lavagem, as peças são encaminhadas para os trabalhos manuais, como puídos, desfiados, estonagem, aplicação de resinas, bigodes, entre outros efeitos. Somente após esses procedimentos, elas seguem para o setor de acabamento e embalagem. A Figura 7 apresenta as paletas que podem ser aplicadas para dar efeito à lavagem.

Figura 7 – Paletas de efeitos do jeans



São vários os tipos de processos e efeitos que as lavagens podem dar ao tecido. Para isso, utilizam-se diversos produtos químicos, conforme as etapas

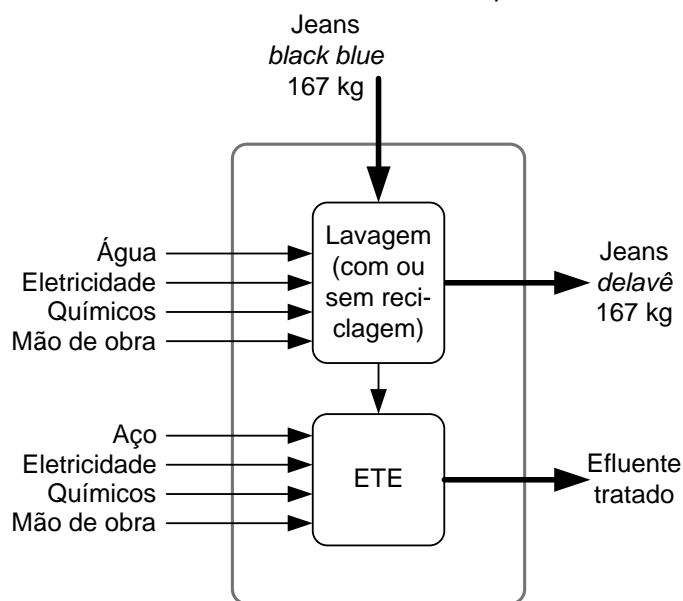
descritas na Tabela 2. Este estudo tomou como base a lavagem *délavé*, considerada uma das mais agressivas ao meio ambiente, devido à retirada de quase todo o tingimento da peça.

Tabela 2 – Processo de lavagem *délavé*

Etapas de Lavagem	Descrição
<i>Destroyd.</i>	Processo de lavagem com pedras.
Aplicação de permanganato.	Processo de aplicação de químico para clareamento do jeans.
Aplicação de enzimas.	Processo de aplicação de enzimas celulósica para fixar a cor.
Amaciamento.	Processo de aplicação de químicos para melhorar o toque do tecido.

Délavé é uma técnica que usa aplicação de produtos químicos: permanganato de sódio, enzima celulósica e cloro. Sua finalidade é a retirada do tingimento do tecido, sendo utilizada para o clareamento das peças. O processo de lavagem e o tratamento de efluentes são exemplificados no sistema da Figura 8.

Figura 8 – Fronteiras do sistema avaliado neste trabalho, incluindo processo de lavagem do jeans *délavé* e do tratamento de efluente da Empresa Vestuário



A Empresa Vestuário é a maior indústria do segmento do estado do Piauí, considerando-se as variáveis de volume de produtos produzidos, rentabilidade e disponibilização de empregos diretos e indiretos. A indústria possui seu próprio setor de lavanderia, com 13 funcionários trabalhando diretamente nesse setor. Sua produção diária é de 20 lavagens e de aproximadamente 6000 (seis mil) lavagens por ano, como descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Características do processo de lavagem avaliado

Quantidade (kg/lavagem)	Duração (horas/lavagem)	Nº Lavagem /dia	Nº Lavagem /ano
167	4	20	6000

Fonte: Dados obtidos *in loco* (2016).

Em 2016, a Empresa Vestuário adotou algumas práticas de P+L em seu processo de lavagem, concentrando-se nos potenciais benefícios. A proposta foi de reaproveitar parte da água utilizada no processo de lavagem, pois a partir da terceira lavagem, a água sai com baixa quantidade de tingimento, possibilitando o seu reaproveitamento.

Para fazer o reaproveitamento da água, implantou-se um sistema hidráulico com a função de retornar parte da água utilizada para uma caixa d'água pulmão. Nas as duas primeiras lavagens, essa água é dispensada e não se encaminha para o tanque pulmão, pois a mesma encontra-se com uma quantidade de tingimento muito grande e não tem possibilidade de ser reaproveitada. A partir da terceira lavagem é possível essa reutilização, pois a coloração da água não está tão forte e não tem propriedade para manchar as peças que estão sendo lavadas. Portanto a água pertencente a terceira lavagem volta pela tubulação ao tanque pulmão e quando se libera a água para a quarta lavagem, a mesma é utilizada, não sendo necessário o insumo de nova água. Esse processo repete-se na quarta, quinta e sexta lavagem. A válvula de descarga é utilizada para a liberação dessa água para as novas lavagens, a cisterna como tanque para receber essa água antes da mesma ser encaminhada para a ETE. Adicionalmente, considerando-se que as máquinas utilizadas no processo de lavagem não são muito modernas e consomem grande quantidade de energia elétrica, identificou-se uma alternativa de P+L por meio da instalação equipamentos eletrônicos (starts), responsáveis por controlar o início do funcionamento dessas máquinas. Desse modo, além de continuar com as mesmas máquinas de lavagem, esperava-se reduzir o consumo de energia elétrica e aumentar ainda mais a durabilidade das máquinas.

A Tabela 4 mostra as especificações técnicas dos equipamentos utilizados para a implantação de P+L. Foram necessários doze caixas d'água, dozes cisternas, 12 bombas de água, doze válvulas de descarga e doze inversores de frequência, por que foi adicionado o sistema de reaproveitamento em cada máquina de lavar.

Tabela 4 – Especificações técnicas dos equipamentos

Equipamentos	Especificações Técnicas
Caixa d'água	Fibra de Vidro de 25.000 l
Cisterna	Fibra de Vidro de 25.000 l
Bomba d'água	Centrífuga auto escorvante motor de 4 tempos
Válvula de Descarga	Pressão 350 bar Fluxo 500 l/min
Inversor de Frenquência	Trifásico 10 CV, 220V, 28,0 A

Como não poderia ser diferente, houve investimentos para a implantação das práticas de P+L. Nesse sentido, este estudo se propõe a avaliar a relação custo-benefício com a implantação das técnicas de Produção Mais Limpa na Empresa Vestuário, no estado do Piauí.

4.2 Fonte de dados

Para o desenvolvimento deste estudo, foram feitos levantamentos de documentos bibliográficos e estatísticos do setor industrial de confecção do estado do Piauí e do município de Teresina (Sindicato das Indústrias de Vestuário do Piauí), bem como visitas em fábricas do segmento com foco na Empresa Vestuário.

Aplicou-se entrevista *in loco* com os responsáveis pelos diversos setores da indústria, dando maior ênfase ao supervisor de manutenção geral das máquinas e ao supervisor do setor da lavanderia. As entrevistas foram realizadas em três oportunidades, no período de junho a outubro de 2016.

Todos os dados coletados na indústria para elaboração deste estudo foram inicialmente tabulados e posteriormente validados pelo especialista do setor de supervisão, especialista do setor de manutenção geral e supervisor do setor da lavanderia.

4.3 Abordagem multimétrica

Este trabalho utiliza uma abordagem multimétrica para calcular indicadores de desempenho econômico e ambiental que possibilitem uma discussão crítica sobre o resultado da aplicação de P+L no sistema avaliado. Para a comparação, são

analisados dois cenários: o primeiro, sem práticas de P+L; o segundo, depois da aplicação das técnicas de P+L. Os métodos científicos da abordagem multimétrica considerada neste trabalho são descritos individualmente nos itens a seguir.

4.3.1 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental em escala local

O balanço de massa, também conhecido como balanço material, constitui-se como uma aplicação do princípio da conservação da massa para o diagnóstico de sistemas físicos.

Esses indicadores, considerados como indicadores diretos de massa e energia avaliados localmente sob uma perspectiva de pequena escala, são comparados para se verificar o *trade-off*¹ existente entre os sistemas antes e após aplicação da P+L.

Basicamente são considerados os insumos necessários (energia e materiais) durante:

- 1) Fase de operação do sistema antes de implementar as práticas de P+L.
- 2) Insumos necessários para a implantação das práticas de P+L.
- 3) Insumos necessários durante a fase de operação do sistema após aplicar P+L.

Esses fluxos de materiais e energia são considerados para quantificar o potencial benefício obtido com a redução do uso de determinado recurso, com a aplicação de P+L. Esse cálculo é realizado por meio da subtração entre o uso atual de determinado recurso pela quantidade utilizada desse mesmo recurso antes da aplicação da prática de P+L.

4.3.2 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental em escala global: contabilidade ambiental em emergia

A contabilidade ambiental em emergia, desenvolvida por Odum (1996), é capaz de contabilizar a contribuição dos recursos naturais sobre um determinado sistema produtivo. Ela se propõe a medir todas as contribuições (moeda, massa,

¹ **Trade-off ou tradeoff* é uma expressão que define uma situação em que há conflito de escolha. Caracteriza-se como uma ação econômica que visa à resolução de problema, mas acarreta outro, obrigando a tal escolha. Ocorre quando se abre mão de algum bem ou serviço distinto para se obter outro bem ou serviço.

energia, informação) em uma única unidade denominada em joules solares (sej). Para tal, usa-se a Teoria de Sistemas e da Termodinâmica, reconhecendo a hierarquia universal de energia e da auto-organização.

Emergia é definida como “a energia disponível de um tipo que foi previamente utilizada direta e indiretamente para fazer um produto ou serviço.” (ODUM, 1996; p. 7). A contabilidade ambiental em emergia pode fornecer uma visão integrada da sustentabilidade de um sistema a partir de diferentes perspectivas. Para Brown, Ulgiati (2002), a emergia é a memória da energia ou a energia total incorporada em produto ou serviço. Da análise em emergia resultam indicadores que refletem tanto a contribuição do sistema econômico com a do meio ambiente. O desempenho do sistema e a sua interação com o meio ambiente é avaliado com a contabilização dos fluxos renováveis (R), não renováveis (N) e provenientes da economia (F) empregados para sua implantação e operação.

Segundo Ulgiati, Brown (2014), para que fluxos com unidades distintas (energia, massa e monetário) sejam convertidos em uma base única comum (sej), devem ser aplicados os fatores de conversão ou coeficientes de intensidade de emergia. Esses coeficientes são genericamente denominados como Valores Unitários de Emergia (Unit Emergy Value, UEV). Os mais utilizados são:


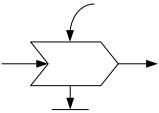
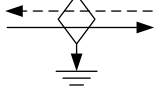
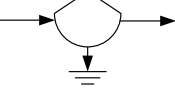
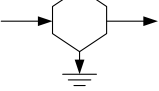
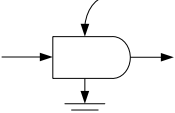
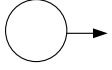

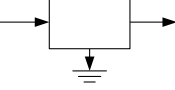
- a) Transformidade solar: a emergia solar requerida para tornar disponível 1 (um) Joule de um produto ou serviço. Sua unidade é o emjoule solar por Joule (seJ/J) (ODUM, 1996).
- b) Emergia específica: a quantidade de emergia requerida para tornar disponível uma unidade de massa de um produto ou serviço. Usualmente, a unidade da emergia específica é seJ/g (BROWN; ULGIATI, 2004).
- c) Emergia por unidade monetária: a quantidade de emergia requerida para gerar uma unidade econômica. A unidade da razão emergia por dinheiro é seJ/\$ (geralmente expresso em dólar, USD (BROWN; ULGIATI, 2004).

Na economia convencional, o preço de um produto corresponde aproximadamente à somatória das despesas realizadas com insumos, mão de obra e outros tipos de serviços, mais a margem de lucro desejada. De certa forma, o preço econômico mede o trabalho humano agregado, porém, não leva em conta a contribuição da natureza na formação dos insumos utilizados, o custo das externalidades negativas no sistema regional, nem as despesas resultantes da

exclusão social gerada pelo empreendimento e pagas pela sociedade local (ORTEGA, 2002a, 2000b, 2003).

A contabilidade ambiental em energia é utilizada como ferramenta do presente estudo com base nos conceitos apresentados por Odum (1996). O valor da energia total incorpora todos os recursos e serviços utilizados para obtenção de um produto, processo ou serviço, sejam tais recursos provenientes do meio ambiente ou da economia. Para a análise, são elaborados diagramas de energia com a finalidade de identificar todos os fluxos de material e energia que constituem o sistema. Essa metodologia utiliza uma álgebra própria, com a qual é possível calcular indicadores, a partir das relações entre as fontes de recursos que compõem o sistema estudado. As relações identificadas no diagrama de energia são elaboradas com os símbolos da Tabela 5.

Tabela 5 – Símbolos para utilização nos diagramas em energia

Símbolo	Significado
	Fluxo de energia: um fluxo cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à qualidade da fonte que o produz.
	Interação: intersecção de dois fluxos para produzir uma saída em proporção a uma função de ambos ou controle de ação de um fluxo sobre outro.
	Transação: uma unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada).
	Depósito: uma reserva energética dentro do sistema, que guarda uma quantidade de energia de acordo com o balanço de entrada e saída.
	Consumidor: unidade que transforma a qualidade da energia, armazena essa energia e a retroalimenta à etapa anterior (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Produtor: unidade que coleta e transforma energia de baixa qualidade (baixa intensidade) em energia com qualidade superior.
	Fonte: fonte de energia externa.
	Sumidouro de energia: dispersão de energia potencial empregada no sistema. A energia potencial é utilizada para produzir trabalho e o custo dessa transformação é a degradação da energia, a qual deixa o sistema como energia de baixa intensidade (2ª Lei da Termodinâmica).
	Caixa: símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior, representando, assim, um subsistema.

Fonte: Adaptado de Odum (1996).

A emergia é utilizada como uma alternativa para avaliar o grau de sustentabilidade, pois considera o impacto das atividades econômicas dentro dos ecossistemas naturais e permite determinar o grau de uso de recursos renováveis e não renováveis das atividades produtivas (COSTA, 2016). Para calculá-la, utilizam-se os fluxos de massa e energia e multiplica pelas respectivas UEVs.

A Tabela 6 representa as UEVs utilizadas neste trabalho. Todas elas estão padronizadas para a linha de base em emergia de $15,83E24$ sej/ano e incluem mão de obra e serviços.

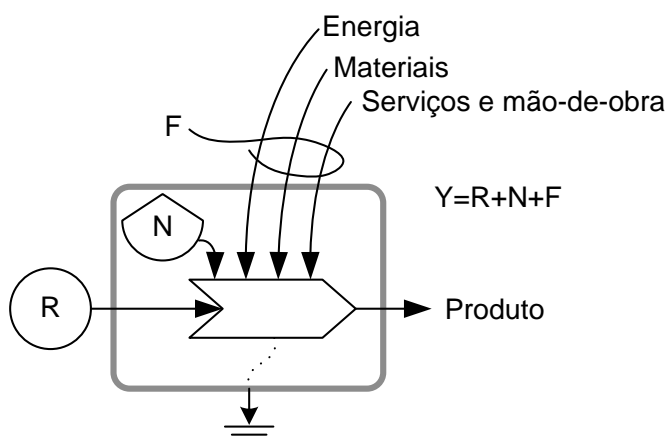
Tabela 6 – Valores unitários de emergia (UEVs) utilizados neste trabalho

Item	sej/g	sej/J	sej/USD	Referência
Bomba de água (aço)	7,81E9			Brown and Ulgiati, 2004
Válvula de descarga (aço)	7,81E9			Brown and Ulgiati, 2004
Caixa de água (fibra de vidro)	1.32E10			Buranakarn, 1998
Cisterna (fibra de vidro)	1,32E10			Buranakarn, 1998
Tubulação (PVC)	5,51E9			Buranakarn, 1998
Inversores de frequência (aço)	7,81E9			Brown and Ulgiati, 2004
Mão de obra		7,33E6		(a)
Eleticidade		1,47E5		Giannetti et al., 2015
Água	3,27E5			Buenfil, 2001
Alvejante (químicos)	2,65E9			Geber and Bjorklund, 2001
Permanganato (químicos)	2,65E9			Geber and Bjorklund, 2001
Cloro (químicos)	2,65E9			Geber and Bjorklund, 2001
Hipocal (químicos)	2,65E9			Geber and Bjorklund, 2001
Sulfato de alumínio (químicos)	2,65E9			Geber and Bjorklund, 2001
Hipocloreto de sódio (químicos)	2,65E9			Geber and Bjorklund, 2001
Enzima celulósica	4,06E11			Agostinho et al., 2015
Manutenção			4,24E12	Giannetti et al., 2015
Depreciação			4,24E12	Giannetti et al., 2015

^(a) UEV para mão-de-obra = $2,8E16$ sej/capita.ano (Brasil em 2008; dados do NEAD) / (2500 kcal/capita.dia) (365 dias/ano) (4186 J/kcal) = $7,33E6$ sej/J.

Usualmente, as entradas de energia que gerenciam ou sustentam o sistema de produção são classificadas em três tipos: (a) recursos renováveis locais (R), como luz solar, vento e chuva; (b) recursos não-renováveis locais (N) referem-se aos disponíveis em quantidade limitada dentro dos limites do sistema, tais como erosão do solo e das águas subterrâneas, dentre outros; (c) entradas compradas (F) incluem os recursos da economia, como energia elétrica, máquinas e trabalho humano. A emergia total demandada pelo sistema (Y) é igual à soma de emergia dos fluxos ($N + R + F$), como ilustra a Figura 9.

Figura 9 – Diagrama de energia de um sistema de produção genérico



Esses fluxos de entradas são utilizados para avaliar as relações entre componentes do sistema produtivo e reservas utilizadas para a obtenção do produto de interesse. Dependem da fração de insumos renováveis e não renováveis e consideram os insumos disponíveis localmente e aqueles importados de fora do sistema. Obtêm-se, dessa forma, informações valiosas sobre o desenvolvimento e a operação dos sistemas produtivos. Pode-se ainda avaliar a eficiência global do sistema e a interação entre o sistema e o ambiente em que este está inserido (BARRELLA et al., 2005).

A contabilidade ambiental em emergia pode fornecer uma série de índices que focam em diferentes aspectos do sistema em análise, por exemplo, pode-se citar o índice de Renovabilidade (%R), a Razão de Investimento em Emergia (EIR), a Razão de Rendimento em Emergia (EYR), a Razão de carga Ambiental (ELR) e o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI), mas, neste trabalho, apenas a UEV é utilizada. Isso se deve ao fato de o sistema avaliado ser puramente industrial, localizado bem à direita da escala de hierarquia, e suas escalas (fronteiras) serem pequenas e não demandarem recursos R e N, apenas F.

A UEV, nesse sistema, avalia a eficiência na conversão de recursos globais em jeans *délavé* e pode ser calculado da seguinte forma: $UEV = Y/Produto$.

4.3.3 Indicadores de desempenho econômico: economia neoclássica

Conforme Werner et al. (2009), a elaboração do estudo de viabilidade econômica baseia-se no fato de que algumas oportunidades de P+L podem implicar

investimentos, geralmente devido à compra de equipamentos com alto grau de inovação tecnológica. Nesta avaliação, são consideradas as quantidades de recursos (água, energia, químicos e horas trabalhadas) necessários antes de se implantarem as práticas de P+L e depois de se implantar esse processo.

Os valores econômicos são obtidos diretamente com a empresa, considerando as etapas de lavagem e do tratamento de efluentes como sistema sob estudo, avaliando os potenciais benefícios da implantação da P+L.

Para a contabilização, foi necessário o uso dos valores pagos pela energia elétrica, água e produtos químicos. O valor da energia foi estimado com base nas tarifas médias por classe de consumo regional da Eletrobrás. A água foi estimada com base nos valores cobrados pela Agespisa. Para o levantamento dos preços dos químicos, utilizaram-se informações da Empresa Vestuário.

Para tal avaliação, levantaram-se os seguintes dados: despesas, discriminação das receitas e demonstrativos de resultados.

Para a análise desses dados, são utilizados os seguintes indicadores econômicos: Margem Líquida, Rentabilidade de Investimento e Tempo de Retorno do Investimento.

O Índice de Margem Líquida (ML) indica quanto a empresa obtém de lucro para cada R\$ 100,00 vendidos. Esse cálculo consiste em dividir o lucro líquido pelas vendas líquidas. De acordo com Ribeiro, Boligon (2009), esse indicador é muito utilizado por mensurar a rentabilidade do ativo, ou seja, quantifica o resultado do aumento das vendas. O ML indica o percentual de ganho da empresa sobre seu faturamento, após a dedução de todas as despesas, inclusive com juros e impostos, ou ainda, a importância que as vendas trazem para a formação do lucro na empresa. O ML indica a eficiência operacional, ou seja, mostra a capacidade de transformar em lucro a atividade operacional representada pelas vendas.

$$ML = (\text{Lucro Líquido} / \text{Vendas Líquidas}) \times 100$$

Equação 1

Onde: ML = Índice de Margem Líquida (%)

Lucro Líquido = obtido após descontar todos os custos e impostos (R\$)

Vendas Líquidas = valor total obtido com a venda dos produtos (R\$)

Outro indicador utilizado é o Índice de Rentabilidade de Investimento (ROI), que indica o quanto a empresa obteve de lucro ou prejuízo para cada R\$ 100,00 investido na implantação de P+L. Consiste em dividir o lucro líquido pelo valor do

investimento total e multiplicar por 100. O ROI é um dos indicadores mais importantes para o acionista, pois, além de mostrar o retorno sobre o investimento, permite comparar essa rentabilidade com outras formas de rendimento no mercado, além de comparar com outras empresas do mesmo setor.

$$\text{ROI} = (\Delta \text{ Lucro Líquido} / \text{Investimento Total}) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde: ROI = Índice de Retorno sobre o Investimento (%)

Δ Lucro Líquido = Diferença do lucro líquido antes e após a implantação da P+L (R\$)

Investimento total = Investimento na implantação da P+L (R\$)

O ROI é um indicador útil, na medida em que possibilita avaliar o retorno sobre o capital investido, em relação ao aumento de lucro líquido. Permite avaliar a viabilidade econômica do projeto de melhoria implementada que proporcionou o aumento do lucro. No caso presente, deve-se utilizar a diferença entre o lucro antes e após a melhoria (Δ) sobre o investimento no projeto de melhoria. Esse indicador é utilizado para calcular qualquer tipo de retorno de investimento, tanto para pesquisas tecnológicas como para aquisição de novo tipo de maquinário. Com esse indicador, é possível avaliar um aumento no retorno e no lucro, viabilizar um processo mais objetivo de tomada de decisões e identificar o prazo de retorno de investimentos.

Finalmente, o Tempo de Retorno sobre o Investimento é utilizado para calcular o período necessário para a empresa recuperar todo o investimento na implantação de processos. Nesta pesquisa, esse índice compõe o terceiro indicador utilizado para demonstrar a viabilidade econômica para a empresa na adoção de práticas de P+L. Para calculá-lo, divide-se o investimento total de implantação do processo pela economia mensal que o processo possibilita ao ser implantado.

$$\text{TR} = (\text{Investimento Total} / \text{Economia Mensal após P+L}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde: TR = Tempo de Retorno sobre o Investimento

Investimento Total = o que foi necessário para a implantação do processo (R\$)

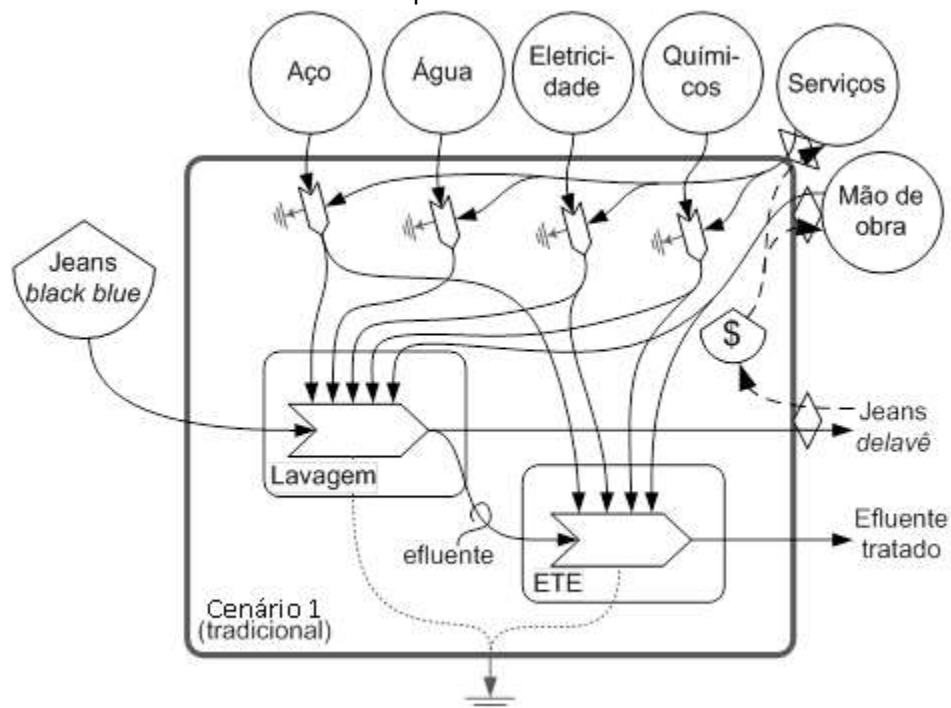
Economia Mensal = valor economizado de recursos que a implantação do processo de P+L possibilitou (R\$)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os diagramas de energia mostram os processos de lavagem no sistema tradicional (Figura 10) e, também, os processos do sistema com aplicação de Produção Mais Limpa (Figura 11).

A Figura 10 mostra que, antes da aplicação de técnicas de produção mais limpa (cenário 1), o jeans bruto (black blue) passa por etapas onde são utilizados recursos, como água, químicos e eletricidade, além de mão de obra. O produto final do sistema é o jeans lavado, e a água usada no processo passa pela ETE para o tratamento dos efluentes.

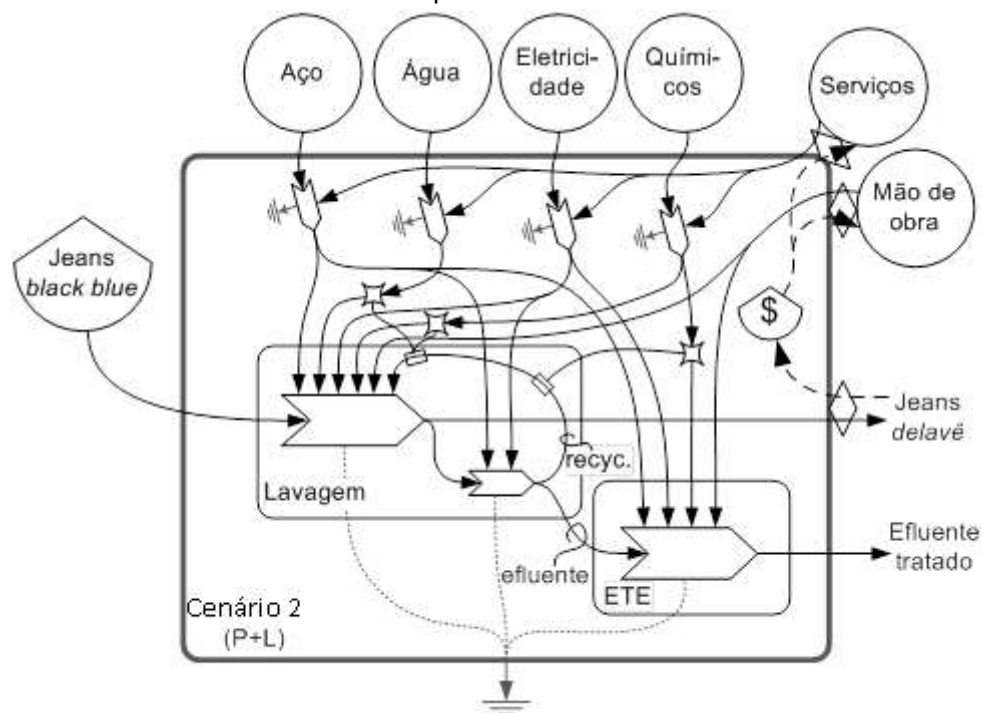
Figura 10 – Diagrama de Energia do sistema de lavagem de jeans *delavê* antes da implantação do processo de P+L



Para o cenário 2 (Figura 11), em que se implementou a P+L, observa-se que entram no sistema basicamente os mesmos recursos, como água, químicos, eletricidade e mão de obra. Há apenas uma diferença: o reaproveitamento de parte da água e dos químicos utilizados em até três lavagens. As ações de produção mais limpa são observadas por meio da construção de tubulações e caixa de água para o retorno da mesma após cada lavagem. Nas duas primeiras lavagens, esse mecanismo não é utilizado, pois a água sai com o tingimento muito forte, ficando

inviável o seu reaproveitamento. A partir da terceira lavagem, esse processo começa a ser aplicado e, ao final dele, consegue-se economizar até 12 m³ de água a cada 167kg de jeans lavado.

Figura 11 – Diagrama de Energia do Sistema de lavagem de jeans *délavé* após a implantação do processo de P+L



Após entender o funcionamento dos sistemas avaliados, incluindo processos, entradas e saídas, os métodos de diagnóstico considerados neste estudo podem ser aplicados. Para facilitar o entendimento, esses métodos são apresentados separadamente nos itens a seguir.

5.1 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental calculado pelo balanço de massa

A Tabela 7 apresenta o balanço de massa e energia do setor de lavagem e tratamento de efluentes avaliados antes da aplicação de técnicas de P+L e após ela. Percebe-se que há benefício líquido para todos os inputs necessários para a fase de operação do processo de lavagem e da ETE.

Em relação à aplicação de químicos, o permanganato indicou uma redução

de quase 65%. Em relação ao uso de alvejante, obteve-se benefício líquido de 200,00 kg/ano. Quanto ao hipocal (kg/ano), observa-se uma redução de 50%. Para o cloro (m³/ano) e enzima celulósica (kg/ano), obteve-se um benefício líquido de 7,20 m³/ano e 430,00 kg/ano, respectivamente.

Em relação aos recursos como água e energia elétrica, antes de se aplicar a produção, a água constituía-se no valor de 180.000,00 m³/ano. Após a aplicação P+L, obteve-se uma redução para 108.000,00 m³/ano. Para a energia elétrica, o benefício líquido foi de 117.000,00 kWh/ano.

Tabela 7 – Indicadores biofísicos em escala local dos sistemas avaliados

Item	Demanda antes de aplicar P+L	Demanda após aplicar P+L	Benefício Líquido obtido com a P+L ^(a)
Fase de operação do processo de lavagem.			
Eletricidade (kWh/ano)	390.600,00	273.600,00	117.000,00
Água (m³/ano)	180.000,00	108.000,00	72.000,00
Alvejante (kg/ano)	18.000,00	15.600,00	2.400,00
Permanganato (kg/ano)	21.000,00	7.200,00	13.800,00
Cloro (m³/ano)	18,00	10,80	7,20
Hipocal (kg/ano)	9.600,00	4.800,00	4.800,00
Enzima celulósica (kg/ano)	1.800,00	1.368,00	432,00
Fase de operação da estação de tratamento de efluentes.			
Eletricidade (kWh/ano)	24.000,00	16.800,00	7.200,00
Sulfato de Alumínio (kg/ano)	510,00	360,00	150,00
Hipocloreto de Sódio (kg/ano)	2.220,00	2.040,00	180,00

Obs: ETE corresponde a pré-tratamento com filtragem simples e posterior aplicação de químicos, em seguida o tratamento aeróbico com aeradores elétricos; NaClO possui ação desinfetante para eliminar micro-organismos patogênicos; Al₂(SO₄)₃ possui ação floculante para posterior sedimentação e separação sólido-líquido.

^(a) Benefício Líquido = (Antes de aplicar P+L) – (Após aplicar P + L)

Fonte: Dados obtidos *in loco*.

Mesmo comportamento pode ser observado para a ETE: benefício com demanda de eletricidade de 7.200 kWh/ano, sulfato de alumínio com 150 kg/ano e hipocloreto de sódio com 180 kg/ano.

Os indicadores biofísicos do desempenho ambiental em escala local apresentados na Tabela 7 apontam para um benefício em todos os inputs considerados na fase de operação do setor de lavagem e da ETE. Indiretamente, isso pode ser considerado como um aspecto positivo que indicaria a viabilidade da P+L adotada. Todavia, a avaliação econômica tradicional e ambiental em escala global (emergia, neste estudo) deveria também ser considerada, antes de se tomar

uma decisão em relação à viabilidade da P+L adotada. Essa análise é discutida nas próximas seções.

5.2 Indicadores biofísicos de desempenho ambiental em escala global: contabilidade ambiental em emergia

A Tabela 8 mostra a contabilidade em emergia realizada na fase de operação do processo de lavagem antes da implantação da P+L (I) e na fase de operação do de tratamento de efluentes antes da P+L (II). Na fase de operação de lavagem antes da implantação do processo de P+L, foi calculada a emergia de $1,29\text{E}+18$ sej/ano. Na fase de operação da ETE antes da P+L, tem-se uma demanda de emergia de $1,99\text{E}+16$ sej/ano, resultando em uma demanda de emergia total de $1,31\text{E}+18$ sej/ano.

Tabela 8 – Tabela de avaliação em emergia da fase de operação dos processos de lavagem e ETE antes da aplicação de P+L

Nota	Descrição	Quantidade	Unidade/Ano	UEV (seJ/Unidade)	Emergia (seJ/ano)	Emergia (%)
"I" - Fase de operação do processo de lavagem antes da implantação de P+L						
1	Mão-de-obra	1,04E+10	J	7,33E+06	7,62E+16	5,8
2	Elettricidade	1,41E+12	J	1,47E+05	2,07E+17	15,8
3	Água	1,80E+11	g	3,27E+05	5,89E+16	4,5
4	Alvejante	1,80E+07	g	2,65E+09	4,77E+16	3,6
5	Permanganato	2,10E+07	g	2,65E+09	5,57E+16	4,2
6	Cloro	1,80E+07	g	2,65E+09	4,77E+16	3,6
7	Hipocal	9,60E+06	g	2,65E+09	2,54E+16	1,9
8	Enzima celulósica	1,80E+06	g	4,06E+11	7,31E+17	55,8
9	Manutenção	1,20E+03	USD	4,24E+12	5,09E+15	0,4
10	Depreciação	7,56E+03	USD	4,24E+12	3,21E+16	2,5
"II" Fase de operação da estação de tratamento de efluentes ETE antes da implantação de P+L						
11	Elettricidade	8,64E+10	J	1,47E+05	1,27E+16	1,0
12	Sulfato de Alumínio	5,10E+05	g	2,65E+09	1,35E+15	0,1
13	Hipocloreto de Sódio	2,22E+06	g	2,65E+09	5,88E+15	0,4
Emergia da fase de operação do processo de lavagem					1,29E+18	98,5
Emergia da fase de operação ETE.					1,99E+16	1,5
Emergia total do processo <i>Delavê</i> antes de aplicar a P+L					1,31E+18	100,0

Obs: Tempo de vida das máquinas de 5 anos; 12 máquinas na fábrica; 6000 lavagens por ano; 167kg por lavagem;

$$UEV = Y/E = (1,31\text{E}+18 \text{ sej/ano}) / (167 \text{ kg/lavagem} * 6000 \text{ lavagens/ano}) = 1,30\text{E}+12 \text{ sej/kg}$$

A Tabela 9 mostra a contabilidade em emergia realizada na fase de implantação do sistema de P+L(I), na fase de operação do processo de lavagem após a implantação de P+L (II) e na fase de operação da estação de tratamento dos

efluentes após a P+L (III). Para a implantação do processo de P+L, são necessárias caixas d'água, cisternas, bombas, tubulações e inversores de frequência, perfazendo o total de $1,35\text{E}+16$ sej/ano. Na fase de operação do sistema, consideraram-se eletricidade, mão de obra, produtos químicos, água e serviços, perfazendo o total de $2,03\text{E}+17$ sej/ano. Na fase de operação da ETE, há uma demanda de energia de $3,81\text{E}+15$ sej/ano, resultando em uma demanda de energia total de $2,20\text{E}+17$ sej/ano.

Tabela 9 – Tabela de avaliação em energia das fases de implantação e operação dos processos de lavagem e ETE após a aplicação de P+L

Nota	Descrição	Quantidade	Unidade/Ano	UEV (seJ/Unidade)	Energia (seJ/ano)	Energia (%)
<i>"I" Fase Implantação do Sistema</i>						
1	Bomba de água	4,80E+04	g	7,81E+09	3,75E+14	0,2
2	Válvula de descarga	3,60E+04	g	7,81E+09	2,81E+14	0,1
3	Caixa de água	4,80E+05	g	1,32E+10	6,34E+15	2,9
4	Cisterna	4,32E+05	g	1,32E+10	5,70E+15	2,6
5	Tubulação	6,40E+04	g	5,51E+09	3,53E+14	0,2
6	Inversores de frequência	7,20E+04	g	7,81E+09	5,62E+14	0,3
<i>"II" - Fase de operação do processo de lavagem após implantação de P+L</i>						
7	Mão de obra	1,04E+10	J	7,33E+06	7,62E+16	34,6
8	Eletricidade	4,21E+11	J	1,47E+05	6,19E+16	28,1
9	Água	7,20E+10	g	3,27E+05	2,35E+16	10,7
10	Alvejante	2,40E+03	g	2,65E+09	6,36E+12	<0,1
11	Permanganato	1,38E+04	g	2,65E+09	3,66E+13	<0,1
12	Cloro	7,20E+00	g	2,65E+09	1,91E+10	<0,1
13	Hipocal	4,80E+03	g	2,65E+09	1,27E+13	<0,1
14	Enzima celulósica	4,32E+02	g	4,06E+11	1,75E+14	0,1
15	Manutenção	1,20E+03	USD	4,24E+12	5,09E+15	2,3
16	Depreciação	8,40E+03	USD	4,24E+12	3,56E+16	16,2
<i>"III" Fase de operação da estação de tratamento de efluentes após implantação de P+L</i>						
17	Eletricidade	2,59E+10	J	1,47E+05	3,81E+15	1,7
18	Sulfato de alumínio	1,50E+02	g	2,65E+09	3,98E+11	<0,1
19	Hipocloreto de sódio	1,80E+02	g	2,65E+09	4,77E+11	<0,1
Energia da fase de implantação					1.36E+16	
Energia da fase de operação					2.03E+17	
Energia da fase de operação E.T.E.					3.81E+15	
Energia total do processo <i>Delavê</i> após aplicar a P+L					2.20E+17	

Obs: Tempo de vida das máquinas de 5 anos; 12 máquinas na fábrica; 6000 lavagens por ano; 167kg por lavagem;

$$UEV = Y/E = (2,20\text{E}+17 \text{ sej/ano}) / (167 \text{ kg/lavagem} * 6000 \text{ lavagens/ano}) = 2,20\text{E}+11 \text{ sej/kg}$$

Fonte: Elaborada pela autora.

De acordo com a Tabela 9, pode-se verificar que a UEV do sistema estudado após a implementação de P+L é de $2,20\text{E}+11$ sej/kg. Ainda de acordo com a Tabela

9, que indica os fluxos de energia do processo estudado, os fluxos mais representativos são a energia elétrica, 28,1%, e mão de obra, 34,6%, na fase de operações do processo de lavagem após a implementação do sistema de P+L.

Outros trabalhos também foram pesquisados para este estudo. Mesmo pesquisando sistemas diferentes, estes revelaram resultados positivos na aplicação de P+L. Song; Chen (2016) utilizaram a perspectiva da energia para avaliar a sustentabilidade no processo seco de produção de cimento. Os autores mostraram que os índices de energia encontrados podem ser melhorados com a substituição de cenários, o que foi feito neste estudo. Substituímos o cenário sem a utilização de P+L para um processo com a implantação de P+L. O índice total de energia encontrado por Song foi $2,36E+21$ sej/ano.

Gianetti et al. (2015) destacam que, no processo de curtimento de couro nos curtumes, existem muitas preocupações ambientais. Foi feita também uma análise multicritério para avaliar a relação custo benefício na aplicação de P+L. Para se demonstrar isso, utilizaram-se uma abordagem econômica e uma abordagem em energia. Foram encontrados índices de economia de água em 50% e de produtos químicos, fato semelhante ao destacado neste estudo de P+L, pois embora em um sistema diferente encontrasse resultados próximos aos encontrados nessa abordagem. Outra semelhança encontrada nessas pesquisas é a viabilidade econômica da implementação de P+L.

Conforme os valores das UEVs, conforme as Tabelas 7 e 8, pode-se dizer que o processo de lavagem do jeans *dé/lavê* após a aplicação de P+L possui maior eficiência global na conversão de recursos em comparação à lavagem antes da referida aplicação, pois esse sistema demanda $2,20E+11$ sej para cada 1kg de jeans lavado, enquanto anteriormente eram necessários $13,00E+11$ sej/kg. O desempenho é aproximadamente 6 vezes superior.

5.3 Avaliação econômica tradicional

A Tabela 10 mostra o valor do investimento para a implantação das práticas de P+L, detalhando todos os itens em relação à quantidade necessária e ao valor investido. Como se pode observar, o maior gasto para a implantação da P+L relaciona-se à utilização dos inversores de frequência.

Tabela 10 – Valor do Investimento da fase de implantação

Item	Quantidade	Unidade	Valor unitário (R\$/unidade)	Valor Total (R\$/ano)
Fase de Implantação de P+L no Processo de Lavagem				
Bomba de água	12	Unidade	650,75	7.809,00
Válvula de descarga	12	Unidade	220,00	2.640,00
Caixa de água	12	Unidade	431,66	5.179,92
Cisterna	12	Unidade	255,00	3.060,00
Tubulação	480	M	15,00	7.200,00
Inversores de frequência	12	Unidade	8.333,00	99.996,00
				Total: 125.884,92

Obs.: Não houve implantação de prática de P+L na ETE, somente no processo de lavagem, por isso não há custos referentes a essa etapa. Vida útil: 5 anos para caixa de água, bomba de água, válvula de descarga, cisterna e tubulação; 3 anos para inversores de frequência.

Fonte: Dados obtidos *in loco*.

Como mostra a Tabela 11, por meio da relação custo-benefício, faz-se a comparação entre a redução dos gastos de todos os insumos. Evidenciam-se água e permanganato, que configuram as maiores reduções, apresentando diminuição no consumo de 13.800 kg/ano, referente ao uso de permanganato, e 72.000 m³ por ano, referente ao uso de água, o que configura uma contenção total de 50% de permanganato e 40% no dispêndio de água.

Tabela 11 – Benefício na fase de operação do processo de lavagem após implantação de P+L

Fase de operação do processo de lavagem após implantação de P+L				
Item	Quantidade	Unidade	Valor Unitário (R\$/unidade)	Valor Total(R\$/ano)
Eleticidade	117.000,00	kWh/ano	0,39	45.630,00
Água	72.000,00	m ³ /ano	5,71	411.120,00
Alvejante	2.400,00	kg/ano	15,60	37.440,00
Permanganato	13.800,00	kg/ano	22,50	310.500,00
Cloro	7,20	m ³ /ano	12.000,00	86.440,00
Hipocal	4.800,00	kg/ano	17,50	84.000,00
Enzima celulósica	432,00	kg/ano	8,07	3.484,80
				Total: 891.090,00

Fonte: Dados obtidos *in loco*.

Por meio da Tabela 11, observa-se que a economia anual proporcionada pela implementação da P+L é de R\$ 891.090,00; portanto, a economia mensal é de R\$ 74.257,50. Desse modo, serão necessários apenas dois meses para se obter o retorno do investimento da implementação de P+L, visto que, como mostra a Tabela 9, o valor do investimento total é de R\$ 125.884,92.

Para avaliar a viabilidade da implantação de técnicas de P+L, serão utilizados dados da empresa como um todo, e não somente do setor de lavagem, como estava

sendo analisado até o momento. Todos os dados de faturamento, vendas, impostos, custos e investimentos foram fornecidos pela Empresa Vestuário. Com base neles, foram executados os cálculos dos indicadores.

De acordo com informações da empresa estudada referente ao balanço patrimonial e de investimentos, os custos historicamente têm representado 40% do faturamento. A seguir, são discriminadas as receitas, impostos, custos e investimento na empresa para posterior apresentação dos cálculos dos indicadores econômicos. Esses cálculos são utilizados nas Tabelas a seguir para se analisar a viabilidade da implementação de P+L.

$$\text{Receita} = 300.000 \text{ peças/mês} \times \text{R\$ } 100,00 \text{ (unidade)}$$

$$\text{Receita} = 30.000.000,00 \text{ R\$/mês}$$

$$\text{Impostos} = 29,48\% \times \text{Receita}$$

$$\text{Impostos} = 29,48\% \times 30.000.000,00 \text{ R\$/mês}$$

$$\text{Impostos} = 8.444.000,00 \text{ R\$/mês}$$

$$\text{Custos} = 40\% \times \text{Faturamento}$$

$$\text{Custos} = 40\% \times 30.000.000,00 \text{ R\$/mês}$$

$$\text{Custos} = 12.000.000,00 \text{ R\$/mês}$$

$$\text{Investimento na Fábrica} = \text{R\$ } 30.000.000,00$$

Vale ressaltar que, no investimento supracitado, não está incluso o custo com a implantação da P+L. A Tabela 12 apresenta as Despesas Operacionais da Empresa Vestuário antes e após a P+L, enquanto a Tabela 13 apresenta a Demonstração de Resultados. A Tabela 12 ressalta a comparação da demonstração de resultados antes da aplicação de técnicas de P+L e após ela. As Tabelas 12 e 13 são utilizadas para demonstrar a redução das despesas operacionais após a implementação de P+L e, conseqüentemente, o aumento do lucro líquido da empresa. Dessa maneira, a implantação desse processo se mostra viável e positivo economicamente para a empresa.

Tabela 12 – Demonstração de despesas

Item	Antes da P+L (R\$/mês)	Após P+L (R\$/mês)
Energia	152.334,00	113.256,00
Folha de pagamento	1.008.586,00	1.008.586,00
Água	1.027.800,00	616.680,00
Material de limpeza	50.000,00	50.000,00
Depreciação	3.000.000,00	3.000.000,00
Telefone	20.000,00	20.000,00
Material de expediente	60.000,00	60.000,00
Contabilidade	10.000,00	10.000,00
Seguro	350.000,00	350.000,00
Combustível	50.000,00	50.000,00
Produtos químicos	1.151.826,00	629.999,70
Total	6.880.546,00	5.908.521,76

Dados do ano fiscal 2016.

Tabela 13 – Demonstração de resultados

	Antes da P+L (R\$/ano)	Após P+L (R\$/ano)
Receita bruta de venda	360.000.000,00	360.000.000,00
(-) Custos	144.000.000,00	144.000.000,00
(-) Impostos	106.128.000,00	106.128.000,00
(=) Lucro bruto	109.872.000,00	109.872.000,00
(-) Despesas operacionais	82.566.552,00	69.702.261,12
(=) Lucro operacional	27.305.448,00	40.168.738,88
(=) Lucro antes de imposto sobre a renda	27.305.448,00	40.168.738,88
(-) Imposto de renda	19.113.813,60	28.118.817,22
(=) Resultado líquido ou lucro ou prejuízo líquido	8.191.634,40	12.050.921,66

Dados do ano fiscal 2016.

Observa-se que os itens que não tiveram alteração após a P+L são independentes dos insumos materiais e de energia, insumos estes reduzidos após a implantação da P+L. Sendo assim, receita bruta, impostos, lucro bruto e custos fixos permanecem inalterados, sendo que as despesas operacionais e o lucro líquido se modificam por serem intimamente influenciados pela P+L.

Em relação ao índice Margem de Lucro antes da P+L, tem-se:

$$ML = (\text{Lucro Líquido} / \text{Receita Líquida}) \times 100$$

$$ML = (8.191.634,40 / 253.872.000,00) \times 100$$

$$ML = 3,22\%$$

Para esses cálculos, foi usado o valor da receita líquida, fornecida pela Tabela 10, onde se subtrai o valor da receita bruta pelos impostos para encontrar o número utilizado. O valor do lucro líquido também se encontra na Tabela 10.

Para esses cálculos, foi considerado o valor da receita líquida fornecida pela Tabela 12. O valor do lucro líquido também se encontra na Tabela 10.

Margem de Lucro Após P+L

$$ML = (12.050.921,66/253.872.000,00) \times 100$$

$$ML = 4,74\%$$

O Índice de Margem Líquida indica quanto a empresa obtém de lucro para cada R\$ 100,00 vendidos. Antes da P+L, a empresa possuía uma margem líquida de 3,22%, ou seja, lucrava R\$ 3,22 para cada R\$ 100,00 vendidos. Após a aplicação de P+L, a empresa obteve uma margem líquida de 4,74%, ou seja, passou a ter um lucro de R\$ 4,74 para cada R\$ 100,00 vendidos. A empresa, portanto, aumentou seu lucro em 43,18%.

Rentabilidade do Investimento antes da P+L:

$$ROI = (\text{Lucro Líquido} / \text{Investimento Total}) \times 100$$

$$ROI = (8.191.634,40/30.000.000,00) \times 100$$

$$ROI = 27,30\%$$

Rentabilidade do Investimento após da P+L:

$$ROI = (12.050.921,66/30.000.000,00) \times 100$$

$$ROI = 40,16\%$$

O Índice de Rentabilidade do investimento indica quanto a empresa obteve de lucro e quanto tempo a empresa leva para obter 100% de retorno do investimento total.

Antes da P+L, ele apresenta uma rentabilidade do ativo de 27,30%, ou seja, obtém de lucro líquido R\$ 27,30 para cada R\$ 100,00 de investimento total.

Após a aplicação de P+L, a empresa indica uma rentabilidade do investimento total de 40,16%, ou seja, obtém um lucro líquido de R\$ 40,16 para cada R\$ 100,00

de investimento total. Isso significa que, após a implantação de P+L, a empresa aumenta sua rentabilidade sobre o investimento em 46,96%.

Observando esses dados, todos os indicadores econômicos calculados apresentam um bom desempenho para a implantação de P+L, indicando uma viabilidade econômica para a empresa para a adoção de tal processo.

6 CONCLUSÕES

Considerando os métodos e dados utilizados neste trabalho, as seguintes conclusões podem ser elencadas:

- (a) Fazendo uso de práticas de produção mais limpa, obteve-se uma diminuição de todos os recursos materiais e de energia necessários no processo de lavagem do jeans *délavé* e tratamento de seus efluentes. As reduções incluem: eletricidade (30% lavagem e 30% ETE), água (40%), alvejante (13%), permanganato (66%), cloro (40%), hipocal (50%), enzima celulósica (24%), sulfato de alumínio (29%; ETE) e hipoclorito de sódio (8%; ETE).
- (b) O diagnóstico da avaliação econômica estabelece que, mesmo havendo dispêndio financeiro alto para a implementação da P+L, ele pode ser considerado viável, pois: (i) com o indicador do lucro líquido, constatou-se um aumento de 43,18% no lucro após a implantação de técnicas de P+L; (ii) a lucratividade do investimento aumentará 46,95%. Adicionalmente, para se obter o retorno total do investimento, são necessários apenas dois meses.
- (c) O processo de lavagem após a aplicação da P+L resultou em melhor desempenho para a eficiência, pois sua UEV é de 2,20E11 sej/kg comparada a 1,30E11 sej/kg do processo de lavagem antes da aplicação da P+L. Esses números mostram um aumento da eficiência em aproximadamente 6 vezes para o processo que aplicou a P+L.

Considerando os resultados deste trabalho que analisou o processo de lavagem *délavé*, todos os indicadores utilizados mostram uma avaliação positiva para a adoção das práticas de P+L. Nesse cenário utiliza-se menos insumos, como água, energia e todos os produtos químicos necessários para o processo, como também gera-se menos resíduos para o meio ambiente. Os diferentes métodos de diagnóstico calculados apontam para maior desempenho econômico e ambiental para a prática de P+L adotada. Portanto, essa prática deveria ser promovida no processo de lavagem do jeans *délavé* como aqui avaliado. Essa pesquisa contribuiu também para o cálculo da UEV do jeans após lavado.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- (a) Cálculo de outros índices em emergia, como Razão de Carga Ambiental (ELR), Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI), Razão de Emergia por Dinheiro (EMR), entre outros.
- (b) Aumentar a escala do processo.

REFERÊNCIAS

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÕES (Brasil). **Perfil do Setor - Dados gerais do setor atualizados em 2016, referentes ao ano de 2015**. 2016. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÕES (Brasil). **Indústria Têxtil e de Confecção Brasileira**. 2013. Disponível em: <http://www.abit.org.br/conteudo/links/publicacoes/cartilha_rtcc.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.

ALANO, Agda Bernardete; FIGUEIREDO, Fernando Luiz; MERINO, Giselle Gisel Schmidt Alves Diaz. Sistema Produto-Serviço: Uma análise de aplicação da gestão de design em um caso de servitização em produtos do vestuário. **Projetica**, v. 4, n. 2, p. 97-110, 2013.

ALMEIDA, C. M. V. B. et al. Cleaner production towards a sustainable transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 1, 2016..

ALVES, Salete Martins; OLIVEIRA, João Fernando Gomes de. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. **Produção** (São Paulo. Impresso), v. 17, p. 129-138, 2007.

ARAGÃO, Camila Maria Albuquerque; FERREIRA, Carla Moura. **Relatos de memórias da moda no Piauí**, 2015.

BARRELLA, F. A.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANETI, B. F. Ferramenta para a tomada de decisão. **Revista Produção**, v. 15, n. 1, p. 087-101, Jan./Abr. 2005.

BROWN, M. T.; ULGATI, S. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. **Journal of cleaner production**, v. 10, n. 4, p. 321-334, 2002.

CEBDS – Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. **Guia para a produção mais limpa – Faça você mesmo**, 2008. Disponível em: <<http://www.gerenciamento.ufba.br/Downloads/guia-da-pmaisl.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Manuais Ambientais CETESB, Projeto Piloto de Prevenção à Poluição**. Casos de sucesso – São Paulo, jun 1998/2002.

CHAVES FILHO, José Geraldo Batista. **Aplicação da padronização do método de trabalho segundo uma metodologia baseada na produção enxuta: um estudo de caso**. Trabalho de Graduação. Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2007.

CHEN, Wei et al. Life cycle based emergy analysis on China's cement production. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 272-279, 2016.

CHIU, S. et al. Applications of a corporate synergy system to promote cleaner production in small and medium enterprises. **Journal of Cleaner Production**, Great Britain, v. 7, p. 351-358, 1999.

DA SILVA PEREIRA, Raquel. Reseña de "Energia e desenvolvimento sustentável" de GOLDEMBERG, José. **Gestão & Regionalidade**, v. 27, n. 79, p. 124-126, 2011.

DE MORAES, Luciano César. **Análise financeira e emergética na tomada de decisão em unidades de reciclagem de curtumes**. Diss. Universidade Paulista, 2005.

DINAMICA LAVANDERIA. **Explicação das lavagens**. Disponível em: <<http://www.dinamicalavanderia.com.br/curiosidades10.php>>. Acesso em: 05 fev. 2017.

DOMINGUES, Rosely Mana; PAULINO, Sônia Regina. Potencial para implantação da produção mais limpa em sistemas locais de produção: o polo joalheiro de São José do Rio Preto. **Revista Gestão & Produção**, v. 16, n. 4, p. 691-704, 2009.

DUMKE, Denise; MEDEIROS, Felipe Alves Calábria. **Aplicação da produção mais limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua**, 2007.

FARIA, Flávia Pinheiro; PACHECO, Elen Beatriz Acordi Vasques. **Experiências com Produção Mais Limpa no Setor Têxtil**, 2011.

FERNANDES, J. V. G et al. Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 06, n. 03, jul/dez. Rio de Janeiro, 2001. p. 157-164.

GIANNETTI, B. F.; NEIS, A. M.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Decisões e Sustentabilidade Ambiental**, cap. 19, p. 315-336. Qualidade e Competência nas decisões. Pedro Luiz de Oliveira Costa Neto, coordenador. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

GIANNETTI, B. F.; AGOSTINHO, F.; MORAES, L. C.; ALMEIDA, C. M. V. B.; ULGIATI, S. Multicriteria cost-benefit assessment of tannery production: the need for breakthrough process alternatives beyond conventional technology optimization. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 22-38, 2015.

GIANNETTI, Biaggio F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial. Conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006.

GIANNETTI, Biaggio Fernando; ALMEIDA, C. M. V. B.; BONILLA, Sílvia H. Implementação de eco tecnologias rumo à ecologia industrial. **RAE-eletrônica**, v. 2, n. 1, p. 1-19, 2003.

GIANNETTI, Biagio F. et al. Multicriteria cost–benefit assessment of tannery production: The need for breakthrough process alternatives beyond conventional technology optimization. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 22-38, 2015.

GOLDEMBERG, José. Energia e Sustentabilidade. **Revista de Cultura e Extensão USP**, v. 14, p. 33-43, 2015.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

HINZ, Roberta Tomasi Pires; VALENTINA, Luiz V. Dalla; FRANCO, Ana Claudia. Sustentabilidade ambiental das organizações através da produção mais limpa ou pela Avaliação do Ciclo de Vida. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 2, n. 2, p. 91-98, 2006.

LEMO, A. D. C. **A produção mais limpa como geradora de inovação e competitividade: o caso da fazenda Cerro do Tigre**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998.

LEMO, Ângela Denise; NASCIMENTO, Luís Felipe. A produção mais limpa como geradora de inovação e competitividade. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 3, n. 1, p. 23-46, 1999.

LOCATELLI, Viviane Gomes. A Importância de uma comunicação interna como diferencial competitiva na Indústria do Vestuário. **Moda Palavra e-Periódico**, v. 1, n. 02, 2016.

LORENZI, S. **IBGE detecta reação de máquinas e vestuário. Desafios em Desenvolvimento**, v. 5, 2007. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/003/00301009.jsp?ttCD_CHAVE=2216>. Acesso em: 21 fev. 2008.

MELLO, Maria Celina Abreu de; NASCIMENTO, Luiz Felipe. **Produção Mais Limpa: um impulso para a inovação e a obtenção de vantagens competitivas**. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba, 2002.

MELO, A. R. **Otimização do reuso de água em lavadores contínuos da indústria têxtil**. Dissertação (Mestrado)- PPGEQ/UFSC/CT, Florianópolis, SC, 2005.

MOURA, T. N, et al. **Intervenção da produção mais limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas**, 23º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais, Campo Grande-MS: ABES, 2005.

ODUM, H. T. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making** John Wiley and Sons. New York, 1996.

OLIVEIRA FILHO, Francisco A. **Aplicação do conceito de produção limpa: estudo em uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ORTOLANO, L.; SANCHEZ-TRIANA, E.; AFZAL, J.; ALI, C. L.; REBELLÓN, S. A. Cleaner Production in Pakistan's leather and textile sectors. **Journal Cleaner Production**, v. 68, p. 121 – 129, 2014.

PATRÍCIO, Daiane Borsatto. **Análise comparativa do processo de produção própria versus terceirização na indústria de confecção**, 2009.

PATRIZI, Nicoletta, et al. Evaluation of the emergy investment needed for bioethanol production in a biorefinery using residual resources and energy. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 549-556, 2015.

PEREIRA, J. A.; DE CARVALHO, J. S.; DOS SANTOS, R. H. O gestor de produção na indústria de confecções: um estudo em uma empresa de médio porte da cidade de Maringá-PR. **Produto & Produção**, v. 16, n. 1, p. 66-80, 2015.

PIMENTA, H. C.; GOUVINHAS, Reidson Pereira. **Implementação da produção mais limpa na indústria de panificação de Natal-RN.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, Paraná, 2007.

PINHEIRO, Eliane; FRANCISCO, Antonio Carlos. **O desempenho ambiental e o descarte de resíduos têxteis nas indústrias de confecções: uma abordagem teórica.** Anais do XXXIII ENEGEP: Salvador, 2013.

RECH, Sandra Regina. Estrutura da cadeia produtiva da moda. **Moda palavra e-periódico**, v. 1, n. 01, 2016.

RIBEIRO, M. de Oliveira; BOLIGON, Juliana A. R. **Análise por meio de índices financeiros e econômicos: um estudo de caso em uma empresa médio porte.** Disciplinarum Scientia, 2009.

SCHENINI, P. C. **Avaliação dos padrões de competitividade à luz do desenvolvimento sustentável: o caso da Indústria Trombini Papel e Embalagens S/A em Santa Catarina – Brasil**, 1999. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção), 1999.

SCHULTE, Neide Köhler; LOPEZ, Lucana Dornbush. **Sustentabilidade ambiental no produto de moda.** I Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí, v. 01, n. 07, 2007.

SCHULTE, Neide Köhler; LOPEZ, Lucana Dornbush. Sustentabilidade ambiental: um desafio para a moda. **Moda palavra e-periódico**, v. 1, n. 02, 2016.

SILVA FILHO, Júlio Cezar Gomes, SICSÚ, Abraham Benzaquem. **Produção mais Limpa: uma ferramenta da Gestão Ambiental aplicada às empresas nacionais**. XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, Minas Gerais, 2003.

SILVA, Adilson da. **A organização do trabalho na indústria do vestuário: uma proposta para o setor da costura**, 2002.

SILVA, Izabel Roberta. **Implementação de programa de melhoria de desempenho ambiental numa empresa de semi jóias**. Diss. Universidade Paulista, 2004.

SILVA, Paulo Cesar da. **Avaliação de práticas de produção mais limpa e sua relação com o desempenho organizacional: survey no setor têxtil brasileiro**, 2016.

SONG, Dan; CHEN, Bin. Sustainability Evaluation of a Typical Cement Production Chain in China—An Energy Perspective. **Energy Procedia**, v. 104, p. 98-103, 2016.

UNEP, Global Mercury Assessment. **United Nations Environment Programme**. Chemicals, Geneva, Switzerland, 2002.

VIEIRA, L. C. **Barreiras e fatores críticos de sucesso relacionados à aplicação da Produção mais Limpa no Brasil**. Diss. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Porto Alegre, 2016.

WERNER, Eveline de Magalhães; BACARJI, Alencar Garcia; HALL, Rosemar José. **Produção mais Limpa: Conceitos e definições metodológicas**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2009.

ZAMCOPÉ, Fábio Cristiano; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. **Construção de um modelo para avaliação da sustentabilidade corporativa: um estudo de caso na indústria têxtil**. Diss. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2009.

ZENG, S. X.; MENG, Z. H.; YIN, H. T.; TAM, C. M.; SUN, L. Impact of Clean Production on business performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 975-984, 2010.

APÊNDICE A – MEMORIAL DE CÁLCULO DA TABELA 7

1.	Mão de obra		
	Considera-se que para operar a unidade de fabricação e operação da E.T.E., são necessários 13 funcionários trabalhando 8 horas por dia durante 230 dias. $(13 \times 8 \times 230) = 23.920$ h/ano.	2,39E+04	h/ano
	Cada pessoa gasta 2.500 kcal por dia. Para 23920 h/ano, serão necessárias 2.492.67 kcal/ano $(23920 \times (2.500 / 24))$	2,49E+06	
	As 2.492.67 kcal/ano equivalem a $1,04 \times 10^{10}$ J $(2.492.67 \times 4.186)$.		
	Total de mão de obra = 1,04E+10 J/ano.	1,04E+10	J/ano
2.	Eletricidade		
	Consumo	390600	kWh/ano
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kwh
	Energia	1,41E+12	J/ano
3.	Água		
	Consumo	1,80E+11	g/ano
4.	Alvejante	1,80E+07	g/ano
5.	Permanganato	2,10E+07	g/ano
6.	Cloro	1,80E+07	g/ano
7.	Hipocal	9,60E+06	g/ano
8.	Enzima celulósica	1,80E+06	g/ano
9.	Manutenção de máquinas e equipamentos		
	Custo p/máquina	5,00E+02	USD
	Quantidade de máquinas	12	quantidade
	Vida útil	5	vida útil
		1,20E+03	USD/ano
10.	Depreciação de máquinas e equipamentos		
	Custo p/máquina	3,50E+03	USD
	Quantidade de máquinas	12	quantidade
	Vida útil	5	vida útil
	Foi estimado 10% a menos comparado ao sistema após a P+L, devido à menor quantidade de equipamentos		
		7,56E+03	USD/ano
11.	Eletricidade E.T.E.		
	Consumo	24000	kWh/ano
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kwh
	Energia	8,64E+10	J/ano
12.	Sulfato de alumínio	5,10E+05	g/ano
13.	Hipocloreto de sódio	2,22E+06	g/ano

APÊNDICE B – MEMORIAL DE CÁLCULO DA TABELA 8

1.	Bomba de água Foram usadas 12 bombas, pesando 20kg cada uma, totalizando 240 kg de massa. Considerando vida útil de 5 anos. Total bombas d'água = $(240/5) = 48 \text{ kg} = 4.80\text{E}+04 \text{ g/ano}$.	2,00E+01	kg	Peso da bomba
		1,20E+01	und	Quantidade
		5,00E+00		Vida útil
		4,80E+01	kg/ano	
2.	Válvula de descarga Foram usadas 12 válvulas, pesando 15kg cada uma, totalizando 180 kg de massa. Considerando vida útil de 5 anos. Total válvulas de descarga = $(180/5) = 36 \text{ kg} = 3.60\text{E}+04 \text{ g/ano}$.	4,80E+04	g/ano	Total
		1,50E+01	Kg	Peso válvula de descarga
		1,20E+01	und	Quantidade
		5,00E+00		Vida útil
		3,60E+01	kg/ano	
3.	Caixa d'água Foram usadas 12 caixas d'água, pesando 200 kg cada uma, totalizando 2400 kg de massa. Considerando vida útil de 5 anos. Total bombas d'água = $(2400/5) = 480 \text{ kg} = 4.80\text{E}+05 \text{ g/ano}$.	2,00E+02	Kg	Peso válvula de descarga
		1,20E+01	und	Quantidade
		5,00E+00		Vida útil
		4,80E+02	kg/ano	
		4,80E+05	g/ano	
4.	Cisterna Foram usadas 12 cisternas, pesando 180 kg cada uma, totalizando 2160 kg de massa. Considerando vida útil de 5 anos. Total cisternas = $(2160/5) = 432 \text{ kg} = 4.80\text{E}+05 \text{ g/ano}$.	1,80E+02	Kg	Peso válvula de descarga
		1,20E+01	und	Quantidade
		5,00E+00		Vida útil
		4,32E+02	kg/ano	
		4,32E+05	g/ano	Total
5.	Tubulação Foram usados 480m de tubos de PVC, estimado em 320 kg de massa. Os tubos de PVC correspondem a = 64 kg/ano. Considerando a vida útil de 5 anos. Total da tubulação de PVC = $(320/5) = 64\text{kg/ano} = 6.40\text{E}+04 \text{ g/ano}$	3,20E+02	Kg	Peso tubulação
		1,00E+00	und	Quantidade
		5,00E+00		Vida útil
		6,40E+01	kg/ano	
		6,40E+04	g/ano	Total
6.	Inversores de frequência Foram usados 12 inversores, pesando 18 kg cada um, totalizando 216 kg de massa. Considerando vida útil de 3 anos. Total inversores = $(216/3) = 720 \text{ kg} = 7.20\text{E}+04 \text{ g/ano}$.	1,80E+01	Kg	Peso de inversores
		1,20E+01	und	Quantidade
		3,00E+00		Vida útil
		7,20E+01	kg/ano	
		7,20E+04	g/ano	Total

7.	Mão de obra		
	Considera-se que, para operar a unidade de fabricação e operação da E.T.E., são necessários 13 funcionários trabalhando 8 horas por dia durante 230 dias. $(13 \times 8 \times 230) = 23.920$ h/ano.	2,39E+04	h/ano
	Cada pessoa gasta 2.500 kcal por dia. Para 23920 h/ano, serão necessárias 2.492.67 kcal/ano $(23920 \times (2.500 / 24))$	2,49E+06	
	As 2.492.67 kcal/ano equivalem a $1,04 \times 10^{10}$ J $(2.492.67 \times 4.186)$.		
	Total de mão de obra = 1,04E+10 J/ano.	1,04E+10	J/ano
8.	Eletricidade		
	Consumo	1,17E+05	kwh/ano
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kwh
	Energia	4,21E+11	J/ano
9.	Água		
	Consumo	7,20E+10	g/ano
10.	Alvejante	2,40E+03	g/ano
11.	Permanganato	1,38E+04	g/ano
12.	Cloro	7,20E+00	g/ano
13.	Hipocal	4,80E+03	g/ano
14.	Enzima celulósica	4,32E+02	g/ano
15.	Manutenção de máquinas e equipamentos		
	Custo p/máquina	5,00E+02	USD
	Quantidade de máquinas	12	quantidade
	Vida útil	5	vida útil
		1,20E+03	USD/ano
16.	Depreciação de máquinas e equipamentos		
	Custo p/máquina	3,50E+03	USD
	Quantidade de máquinas	12	quantidade
	Vida útil	5	vida útil
		8,40E+03	USD/ano
17.	Eletricidade E.T.E.		
	Consumo	7,20E+03	kWh/ano
	Fator de conversão	3,60E+06	J/kWh
	Energia	2,59E+10	J/ano
18.	Sulfato de alumínio	1,50E+02	g/ano
19.	Hipocloreto de Sódio	1,80E+02	g/ano