
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS E ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

ELIZABETH SANTER BECKER

**PARQUE INDUSTRIAL: REAPROVEITAMENTO
E RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Porto Alegre

julho 2014

ELIZABETH SANTER BECKER

**PARQUE INDUSTRIAL: REAPROVEITAMENTO
E RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO
APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA
AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO GRANDE DO SUL COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO
DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Orientador: Gino Roberto Gehling

Porto Alegre

julho 2014

ELIZABETH SANTER BECKER

PARQUE INDUSTRIAL: REAPROVEITAMENTO
E RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em 14/07/2014 pela Comissão avaliadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

.....
Prof. Dr. Gino Roberto Gehling
Dr. em Engenharia Ambiental pela Universitat Politècnica de Catalunya

.....
Oscar Eduardo Patron Guillermo
Doutorando em Informática na Educação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Fabiano da Costa Hóltz
Me. em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Antonio e Marlene, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Gino Roberto Gehling, orientador deste trabalho, pela atenção que me dedicou nesta etapa final do curso.

Agradeço ao designer Bruno Tavares por ter me ajudado na elaboração da animação deste trabalho.

Agradeço aos meus colegas de curso pelo apoio e motivação durante os anos de graduação.

Temos que ter em mente o assustador ritmo da mudança e nos darmos conta de quão pouco tempo resta para agir, e então cada comunidade e nação deve achar o melhor uso dos recursos que possui para sustentar a civilização o máximo de tempo que puderem.

James Lovelock

RESUMO

BECKER, E. S. Parque Industrial: Reaproveitamento e Reciclagem de Resíduos Sólidos. 2014. 67 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Os resíduos sólidos industriais (RSI) já foram um problema de difícil solução, que geraram passivos ambientais significativos. Este trabalho contempla uma estruturação de aproveitamento e reciclagem de alguns tipos de resíduos gerados em um distrito industrial. O mesmo abriga indústrias têxtil, moveleira, coureiro-calçadista, de fertilizantes, de reciclagem de PET, de óleos lubrificantes, de reciclagem de lâmpadas fluorescentes e uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos (RSU). Gerou-se um objeto de aprendizagem virtual (OAV) que permite uma interação de capacitandos com a dinâmica agregada ao cenário. Assim, é possível identificar os fluxos de entrada de insumos em cada indústria, bem como os resíduos sólidos e os rejeitos que são gerados. Também é possível quantificar as reduções nos custos operacionais de cada indústria, associados primeiramente a não geração, e então ao reaproveitamento e à reciclagem. No cenário podem-se identificar as vantagens que tem as indústrias que dispensam aos resíduos as atenções preconizadas pelas leis vigentes até o fim do ano 2013. As práticas adotadas pelas indústrias se inserem em um ciclo de geração e reaproveitamento de resíduos, o qual envolve compra e venda de matéria-prima de acordo com o tipo de produção. Os preços de comercialização dos produtos gerados em cada empresa foram comparados a fim de saber a economia que as indústrias tem ao utilizar material reciclado. Outra comparação feita é a quantidade de material produzido a partir de matéria-prima virgem e de produtos reprocessados. Este reaproveitamento e reciclagem de RSI resultam em diminuição de volume de rejeitos com destinação de aterro industrial.

Palavras-chave: resíduos sólidos industriais; RSI; reaproveitamento; reciclagem; objeto de aprendizagem virtual; OAV.

ABSTRACT

BECKER, E. S. Parque Industrial: Reaproveitamento e Reciclagem de Resíduos Sólidos. 2014. 67 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Industrial solid waste (RSI) has been a problem of difficult solution, which generated significant environmental liabilities. This work includes structuring the recovery and recycling of certain types of waste generated in an industrial district. The same holds shoe leather, textile, furniture, fertilizer, PET recycling, lubricating oils, recycling fluorescent lamps and a plant for thermal treatment of municipal solid waste. It is an object virtual learning (OAV) allowing interaction which will be able to aggregate the dynamic scenario. Thus, it is possible to identify the flows of input in each industry, as well as solid waste and tailings that are generated. It is also possible to quantify the reductions in operating costs of each industry, primarily associated with non-generation, and then to reuse and recycling. In scenario one can identify advantages in industries that dispense attentions about wastes advocated by applicable law until the end of the year 2013. Practices adopted by industries fall into a cycle of generation and reuse of waste, which involves buying and selling raw material according to the type of production. The trading prices of the products generated in each firm were compared in order to know the economy that industries have by using recycled material. Another comparison made is the amount of material produced from virgin material and recycled products. Reusing and recycling RSI results in a decrease in volume of waste to disposal of industrial landfill.

Keywords: industrial solid waste; RSI; reuse; recycling; virtual

learning object; OAV.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema da pesquisa.	18
Figura 2: Embalagens de papelão e bombonas plásticas retornáveis.	21
Figura 3: Chapas de aço para produção de peças.	22
Figura 4: Processo manual e pistola para aplicação de adesivo.	22
Figura 5: Pistolas sem e com redução de emissões perigosas.	23
Figura 6: Compostagem fechada.	26
Figura 7: Segregação de aparas de papel para revenda e reciclagem externa.	26
Figura 8: Representação virtual do simulador de usina hidrelétrica.	27
Figura 9: Reatores de hidrólise térmica e enzimática.	37
Figura 10: Fluxograma esquemático da usina.	38
Figura 11: Foto ampliada da lona PET.	42
Figura 12: Foto de ecobolsa (sacola confeccionada com o lona PET).	42
Figura 13: Início do processo de descontaminação do mercúrio.	44
Figura 14: Lâmpadas de vapores de mercúrio.	44
Figura 15: Interior do site de descontaminação.	44
Figura 16: Esquema de obtenção de óleo re-refinado.	46
Figura 17: Aspectos de segurança no transporte.	46
Figura 18: Parque industrial, cidade vizinha e área de reflorestamento.	49
Figura 19: Organograma do Parque Industrial Virtual.	50
Figura 20: Fluxos na indústria têxtil.	52
Figura 21: Insumo, produto final e resíduos gerados na indústria moveleira.	53
Figura 22: Insumo, produto final e resíduos na indústria coureiro-calçadista.	54
Figura 23: Entrada, saída e resíduos na indústria de fertilizantes.	54
Figura 24: Entrada, saída e resíduos na usina.	56
Figura 25: Insumo, produto final e resíduos na indústria de reciclagem de PET.	57

Figura 26: Insumo, subprodutos e rejeitos na indústria de reciclagem de lâmpadas fluorescentes.....	58
Figura 27: Entrada, saída e rejeitos na indústria de reciclagem de óleos lubrificantes.	59
Figura 28: Cidade de médio porte.	59
Figura 29: Área de reflorestamento.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Setores da produção e os resíduos gerados.....	30
Tabela 2: Resíduos gerados e tratamento realizado pela empresa.	30
Tabela 3: Concentrações de poluentes e limites na Resolução CONAMA.....	40
Tabela 4: Preços de resíduos de serragem.....	55
Tabela 5: Preços de resíduos de PET.	56
Tabela 6: Preços de venda de resíduos reutilizáveis.	61
Tabela 7: Preços de compra de resíduos reutilizáveis.....	62

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABS: Acrilonitrila butadieno estireno

ANP: Agência Nacional do Petróleo

CEFET: Centro Federal de Tecnologia

CETREL: Central de Tratamento de Efluentes Líquidos

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA: Conselho Estadual do Meio Ambiente

CT: Centro Tecnológico

EVA: Etil vinil acetato

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis

INPI: Instituto Nacional de Propriedade Industrial

IPCC: Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IPH: Instituto de Pesquisas Hidráulicas

MDF: Medium density fiberboard

MDL: Mecanismo de desenvolvimento limpo

OAV: Objeto de aprendizagem virtual

OLUC: Óleos lubrificantes usados ou contaminados

OSB: Oriented strand board

PCI: Poder calorífico inferior

PET: Politereftalato de etileno

PNRS: Política Nacional de Resíduos Sólidos

PR: Paraná

P+L: Produção mais limpa

PVC: Policloreto de vinila

PU: Poliuretano

RJ: Rio de Janeiro

RSI: Resíduos sólidos industriais

RSU: Resíduos sólidos urbanos

TCC: Trabalho de Conclusão de Curso

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 ELEMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	17
2.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	17
2.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2.3 OBJETIVOS	17
2.3.1 Geral	17
2.3.2 Específicos	17
2.4 PRESSUPOSTOS	18
2.5 DELINEAMENTO	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1 OS 3R DA SUSTENTABILIDADE.....	20
3.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA	21
3.2.1 Redução na Fonte	24
3.2.2 Reciclagem Interna	25
3.2.3 Reciclagem Externa e Ciclos Biogênicos	26
3.3 OAV	27
3.4 ATIVIDADES INDUSTRIAIS CONSIDERADAS.....	28
3.4.1 Indústria Têxtil	28
3.4.2 Indústria Moveleira	31
3.4.3 Indústria Coureiro-Calçadista	33
3.4.4 Indústria de Fertilizantes	36
3.4.5 Usina de Tratamento Térmico de RSU	37
3.4.6 Reciclagem de PET	41
3.4.7 Reciclagem de Lâmpadas	43
3.4.8 Reciclagem de Óleos Lubrificantes	44

4 PARQUE INDUSTRIAL VIRTUAL	49
4.1 INDÚSTRIAS CONSIDERADAS	51
4.1.1 Indústria Têxtil	51
4.1.2 Indústria Moveleira	52
4.1.3 Indústria Coureiro-Calçadista	53
4.1.4 Indústria de Fertilizantes	54
4.1.5 Usina de Tratamento Térmico de RSU	55
4.1.6 Indústria de Reciclagem de PET	56
4.1.7 Indústria de Reciclagem de Lâmpadas Fluorescentes	57
4.1.8 Indústria de Reciclagem de Óleos Lubrificantes	59
4.2 CIDADE DE MÉDIO PORTE	59
4.3 ÁREA DE REFLORESTAMENTO	60
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	61
6 CONCLUSÕES	63
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

Toda atividade humana gera resíduos, e estes apresentam potencial de poluição do solo, das águas subterrâneas e do ar, além de representarem perdas no processo produtivo. Idealmente, procura-se processos absolutamente sem resíduos, isto é, tudo o que é gerado como rejeito volta para o processo produtivo ou é utilizado como matéria prima para outro processo. Apesar de saber-se que não é possível alcançar o “Resíduo Zero”, este deve ser utilizado como meta para assim ocorrer o aperfeiçoamento das técnicas industriais buscando a minimização da geração de resíduos, ou o reaproveitamento e reciclagem.

Baseado nisso, foi elaborado neste trabalho um ciclo de reutilização de resíduos gerados por diferentes indústrias, onde cada subproduto gerado é aproveitado como matéria-prima para reprocessamento.

A fim de se quantificar a economia gerada nas empresas em não dispor seus rejeitos em aterros industriais e ainda lucrar com a venda dos mesmos, foram coletados dados de preços de mercado a partir das “Bolsas de Resíduos” virtuais.

Foi então gerado um objeto de aprendizagem virtual (OAV) com as relações de insumo, produto final e resíduos de indústrias têxtil, moveleira, coureiro-calçadista, de fertilizantes, de reciclagem de PET, de óleos lubrificantes, de reciclagem de lâmpadas fluorescentes e uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos (RSU) com o objetivo de permitir a interatividade com o usuário.

2 ELEMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

2.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A destinação dos resíduos sólidos industriais sempre foi um problema de difícil solução, visto que até pouco tempo não haviam leis e regulamentações para a destinação dos resíduos gerados nas atividades industriais. Empresas costumavam enterrar seus resíduos ou deixá-los em uma área qualquer por não conhecer o correto destino para os mesmos. Atualmente há leis e resoluções que regulamentam a destinação para cada tipo de resíduo, e também o seu transporte, pois os resíduos gerados podem ser perigosos ou não, inflamáveis, abrasivos ou lixiviáveis. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi gerada com a função de orientar as empresas a dar o destino correto para seus resíduos e não mais permitir que poluam e contaminem o meio ambiente, seja pelo solo, água superficial ou subterrânea, ou pelo ar.

2.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho apresenta um ciclo de reaproveitamento e reciclagem dos resíduos sólidos gerados por indústrias têxtil, moveleira, coureiro-calçadista, de fertilizantes, de reciclagem de PET, de reciclagem de lâmpadas, de reciclagem de óleos lubrificantes e uma incineradora de RSU.

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Geral

O principal objetivo desta pesquisa é apresentar as atenções que as indústrias devem dispensar às suas linhas de produção, buscando reduzir rejeitos pelo direcionamento de resíduos a outras indústrias, ou à sua própria linha de produção.

2.3.2 Específicos

Cada indústria gera determinados tipos de resíduos, que são compartilhados ou não com outras. A fim de se analisar e quantificar os resíduos gerados, estes são separados na origem por sua natureza, e assim identificam-se empresas que aproveitarão o resíduo de outra como matéria-prima. Como exemplo, lâmpadas fluorescentes são geradas em

todas as indústrias em questão. Estas serão absorvidas pela empresa recicladora que fará parte do parque industrial, que também absorverá lâmpadas do município próximo.

A partir destas definições foi elaborado um OAV com as relações entre as indústrias consideradas, simulando o processo de geração de resíduos, trocas e vendas através de bolsa de resíduos e absorção dos mesmos por indústrias receptoras que os transformam em produtos, chegando ao mercado consumidor, a fim de permitir a interatividade com o usuário.

2.4 PRESSUPOSTOS

Os pressupostos a serem levados em conta são as resoluções e normas legais que estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos referentes aos resíduos sólidos industriais (RSI).

- a) POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS – A Lei N° 12.305/10, que institui a PNRS, prevê a prevenção e redução na geração de resíduos (BRASIL, 2010);
- b) RESOLUÇÃO CONSEMA N.º 073 – Dispõe sobre a co-disposição de resíduos sólidos industriais em aterros de RSU no estado do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2004).

2.5 DELINEAMENTO

O delineamento do trabalho segue as etapas apresentadas na Figura 1.

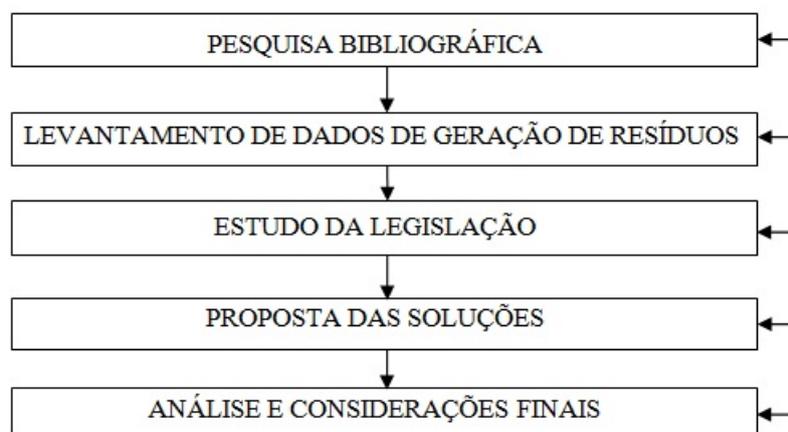


Figura 1: Esquema da pesquisa.

Cada uma das etapas da pesquisa é detalhada abaixo.

A pesquisa bibliográfica consiste na busca de informações existentes de geração de resíduos de empresas que serão consideradas, tanto de sua natureza como quantidades geradas e valor de mercado. O principal meio de consulta foram TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) já concluídos, relacionados à não geração de rejeitos, maximizando a reciclagem e o reuso de resíduos. Também consultaram-se livros, artigos, revistas, jornais e a internet, pois neste trabalho são abordadas práticas de empresas reais, que concordem em disponibilizar informações.

Na análise de dados de geração de resíduos foram consideradas oito indústrias com diferentes tipos de resíduos e reciclagem. O levantamento foi realizado a partir de trabalhos realizados anteriormente por alunos das disciplinas HIP-26 e IPH-26, oferecidas no âmbito do IPH – UFRGS.

Na etapa do estudo da legislação, a PNRS e a resolução do CONSEMA, mencionadas anteriormente, foram as principais diretrizes para a elaboração das relações entre as indústrias consideradas. Foi realizado ainda um estudo das normas brasileiras relativas a cada tipo de atividade do parque industrial virtual, que é um OAV criado neste trabalho.

Com os dados obtidos no levantamento de geração de resíduos das indústrias pode-se estudar as relações entre as diferentes empresas e seus fluxos de produtos. Assim foi possível estabelecer vínculos entre indústrias, de acordo com os resíduos gerados e suas respectivas matérias-prima.

A análise e considerações finais permitem avaliar a possibilidade de concretização de princípios de sustentabilidade em um parque industrial. Neste se tem como base a reutilização e reciclagem de resíduos que seriam dispostos em aterros industriais, ou que não teriam o tratamento adequado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 OS 3R DA SUSTENTABILIDADE

Segundo Javnarama (2003) os 3R da sustentabilidade (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), são ações práticas que visam estabelecer uma relação mais harmônica entre consumidor e meio ambiente. Adotando estas práticas, é possível diminuir os custos (reduzir gastos, economizar), além de favorecer o desenvolvimento sustentável (desenvolvimento econômico com respeito e proteção ao meio ambiente). Na indústria se pode alcançar uma harmonia entre geração de resíduos e reaproveitamento entre diferentes tipos de produção.

REDUZIR

Em relação às compras realizadas no cotidiano e nos serviços contratados, percebe-se que são adquiridas muitas coisas sem a devida necessidade, ou que são utilizadas sem a frequência adequada. Portanto, reduzir significa comprar bens e serviços de acordo com as necessidades para evitar desperdícios. O consumo consciente é importante não só para o bom funcionamento das finanças como também para o meio ambiente.

REUTILIZAR

De acordo com Amaral et al. (2003) muitas coisas jogadas no lixo poderiam ser reutilizadas para outros fins. Reutilizando economiza-se, além de colaborar para o desenvolvimento sustentável do planeta. Isto ocorre porque tudo que é fabricado necessita de energia e matéria-prima. Ao jogar algo no lixo, ocorre desperdício da energia que foi utilizada no processo produtivo e no transporte de matérias-primas e dos produtos finais. Além disso, se este objeto não for descartado de forma correta, ele poderá poluir o meio ambiente, e gerar penalidades ao gerador.

A doação também pode ser uma boa alternativa, pois outra pessoa ou empresa que necessite pode utilizar aquele resíduo que não seria utilizado pelo gerador.

RECICLAR

Atualmente a reciclagem é quase uma obrigação. O primeiro passo é separar os resíduos recicláveis (plásticos, metais, vidros, papéis), do lixo orgânico. O reciclável deve ser encaminhado para empresas ou cooperativas de trabalhadores de reciclagem, pois serão usados como matéria-prima no ciclo produtivo. Além de gerar renda e emprego para

peças que trabalham com reciclagem, é uma atitude que alivia o meio ambiente de resíduos que vão levar anos ou séculos para serem decompostos.

3.2 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Produção mais limpa (P+L) é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental 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 dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (AMARAL et al. 2003).

A P+L considera a variável ambiental em todos os níveis da empresa, como por exemplo, a compra de matérias-primas, a engenharia de produto, o design, o pós-venda, e relaciona as questões ambientais com ganhos econômicos para a empresa. Um exemplo desta prática é a troca de embalagens de papelão por bombonas plásticas retornáveis (Figura 2). Cooperação entre o setor de compras e o setor de produção - Redução na emissão de resíduos e economia no custo do adesivo.



Figura 2: Embalagens de papelão e bombonas plásticas retornáveis.

Fonte: AMARAL et al., 2003.

A P+L caracteriza-se por ações que são implementadas dentro da empresa com o objetivo de tornar o processo mais eficiente no emprego de seus insumos, gerando mais produtos e menos resíduos (Figura 3). Como exemplo tem-se a otimização no uso de chapas de aço para produção de peças. Cooperação entre o setor ambiental, setor de projeto e setor de compras – uso eficiente das matérias-primas e menor geração de sucata.



Antes

Depois

Figura 3: Chapas de aço para produção de peças.

Fonte: AMARAL et al., 2003.

Através da implementação de um programa de P+L, a atividade produtiva identifica as tecnologias limpas mais adequadas para o seu processo produtivo. Por exemplo, a utilização de pistola para aplicação de adesivo em substituição a processo manual – redução no consumo de matéria-prima e ganho em produtividade (Figura 4).



Antes

Depois

Figura 4: Processo manual e pistola para aplicação de adesivo.

Fonte: AMARAL et al., 2003.

Mais importante, agindo positivamente sobre saúde ocupacional, as ações de P+L levam a um melhor ambiente de trabalho. Por exemplo, a redução no consumo de tinta para pintura: alteração da pressão de ar das pistolas – redução de emissões perigosas (Figura 5).

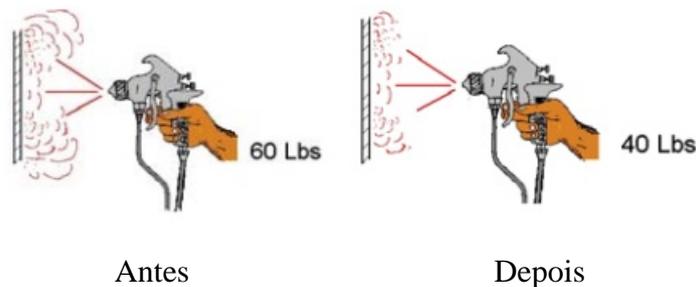


Figura 5: Pistolas sem e com redução de emissões perigosas.

Fonte: AMARAL et al., 2003.

PRODUÇÃO MAIS LIMPA X FIM-DE-TUBO

A abordagem das ações de fim-de-tubo é diferente daquela apresentada pela P+L. Enquanto a primeira dedica-se à solução do problema sem questioná-lo, na última é feito um estudo direcionado para as causas da geração do resíduo e o entendimento das mesmas. A forma tradicional de atuar somente na solução da geração de resíduos é simplista, e acaba geralmente resultando no aumento dos custos associados ao gerenciamento ambiental. Na abordagem tradicional, as primeiras ações tomadas são geralmente a disposição dos resíduos ou o seu tratamento, que representam um potencial menor para a solução do problema ambiental comparadas às demais, além de serem mais caras a longo prazo, por apenas agregarem novos custos ao processo produtivo. A abordagem lógica, pelo contrário, privilegia as soluções voltadas para a prevenção e minimização, sugerindo que as empresas atuem na fonte geradora, buscando alternativas para o desenvolvimento de um processo eco-eficiente, resultando na não geração dos resíduos, redução ou reciclagem interna e externa. Esta abordagem contribui de forma muito mais efetiva para a solução do problema ambiental. Apesar de mais complexa, pois exige mudança no processo produtivo e/ou a implementação de novas tecnologias. Permite ainda uma redução permanente dos custos gerais, incorporando os ganhos ambientais, econômicos e de saúde ocupacional.

Identificação das opções de Produção mais Limpa

Sob o ponto de vista de resíduos, efluentes líquidos e emissões gasosas, levando-se em consideração os níveis e as estratégias de aplicação, a abordagem de P+L pode se dar de duas formas: através da minimização de resíduos (redução na fonte), efluentes e emissões, ou através da reutilização de resíduos (reciclagem interna e externa), efluentes e emissões.

3.2.1 Redução na Fonte

A redução na fonte contempla modificações no produto e no processo.

A modificação no produto é uma abordagem complexa, geralmente de difícil implementação, pois envolve a aceitação pelos consumidores de um produto novo ou renovado. Geralmente é adotada após terem sido esgotadas as opções mais simples. A modificação no produto pode incluir: Substituição completa do produto; Aumento da longevidade; Substituição de matérias-primas; Modificação do design do produto; Uso de matérias-primas recicláveis e recicladas; Substituição de componentes críticos; Redução do número de componentes; Viabilização do retorno de produtos; Substituição de itens do produto ou alteração de dimensões para um melhor aproveitamento da matéria prima.

Por processo entende-se todo o sistema de produção dentro da empresa. As medidas deste tipo podem ser: boas práticas operacionais (good housekeeping) – utilização cuidadosa de matérias-primas e materiais auxiliares, operação adequada de equipamentos e melhor organização interna; substituição de matérias-primas e materiais auxiliares e modificações tecnológicas.

As boas práticas operacionais, ou de manutenção da casa (good housekeeping), implicam na adoção de medidas de procedimento, técnicas, administrativas ou institucionais que uma empresa pode implantar para minimizar a geração de resíduos, efluentes e emissões gasosas. Boas práticas operacionais são frequentemente implementadas com baixo custo.

As boas práticas operacionais incluem: mudança na dosagem e na concentração de produtos; maximização da utilização da capacidade do processo produtivo; reorganização dos intervalos de limpeza e de manutenção; eliminação de perdas devido à evaporação e a vazamentos; melhoria de logística de compra, estocagem e distribuição de matérias-primas, materiais auxiliares e produtos; elaboração de manuais de boas práticas operacionais; treinamento e capacitação das pessoas envolvidas no programa de P+L.

A substituição de matérias-primas inclui: matérias-primas e materiais auxiliares toxicologicamente importantes, que podem afetar a saúde e a segurança do trabalhador e obrigam à utilização de equipamentos de proteção individual (EPI); matérias-primas e materiais auxiliares que geram resíduos, efluentes e emissões gasosas perigosas ou não

inertes, que necessitam de controle para evitar impactos ao meio ambiente. Como exemplo pode-se citar: substituição de solventes orgânicos por agentes aquosos; substituição de produtos petroquímicos por bioquímicos; escolha de matérias-primas com menor teor de impurezas; escolha de matérias-primas com menor possibilidade de gerar subprodutos indesejáveis; substituição de fornecedores; uso de resíduos como matérias-primas de outros processos; modificação de embalagens de matérias primas; uso de matérias-primas biodegradáveis; redução do número de componentes para reduzir a complexidade dos processos; uso de substâncias livres de metais pesados; uso de matérias primas que tenham um ciclo de vida conhecido e que facilitem o sistema de fim de vida de produtos.

As mudanças tecnológicas são orientadas para as modificações de processo e de equipamento para reduzir resíduos, efluentes e emissões no sistema de produção. As mudanças tecnológicas podem variar desde alterações simples, que podem ser implementadas num curto período, até mudanças complexas e onerosas, como a substituição completa de um processo.

Estas opções podem incluir: substituições de processos termoquímicos por processos mecânicos; uso de fluxos em contracorrente; tecnologias que realizam a segregação de resíduos e de efluentes; modificação nos parâmetros de processo; utilização de calor residual; substituição completa da tecnologia.

3.2.2 Reciclagem Interna

A reciclagem interna é a segunda em prioridade das opções de P+L, e refere-se a todos os processos de recuperação de matérias-primas, materiais auxiliares e insumos que são feitos dentro da planta industrial. Podem ser citados como exemplos:

- Utilização de matérias primas ou produtos novamente para o mesmo propósito - recuperação de solventes usados;
- Utilização de matérias primas ou produtos usados para um propósito diferente - uso de resíduos de verniz para pinturas de partes não visíveis de produtos;
- Utilização adicional de um material para um propósito inferior ao seu uso original – aproveitamento de resíduos de papel para enchimentos.

3.2.3 Reciclagem Externa e Ciclos Biogênicos

As medidas mencionadas acima devem ser adotadas preferencialmente quando da implementação de um programa de P+L. Somente quando as mesmas forem tecnicamente descartadas deve-se optar por medidas de reciclagem de resíduos, efluentes e emissões fora da empresa. Isto pode acontecer na forma de reciclagem externa ou de uma reintegração ao ciclo biogênico. Como exemplo pode ser referido o processo de compostagem (Figura 6).



Figura 6: Compostagem fechada.

Fonte: AMARAL et al., 2003.

A recuperação de matérias-primas de maior valor e sua reintegração ao ciclo econômico – como papel, vidros, materiais de compostagem – é um método menos reconhecido de proteção ambiental integrada através da minimização de resíduos (Figura 7).



Figura 7: Segregação de aparas de papel para revenda e reciclagem externa.

Fonte: AMARAL et al., 2003.

3.3 OAV

O conceito de objeto de aprendizagem, segundo a IEEE (2005), é qualquer entidade, digital ou não-digital, que pode ser reutilizada em aprendizagem, educação ou treinamento. Para Wiley (2002), os objetos de aprendizagem permitem aos projetistas a construção de pequenos componentes instrucionais, os quais podem ser reutilizados em diferentes contextos de aprendizagem. Assim, trata-se de qualquer recurso digital que pode ser reutilizado para apoiar a aprendizagem (WILEY, 2006).

Uma representação, segundo Cadoz (1997), refere-se a todo processo de substituição de um objeto, um fenômeno ou uma entidade abstrata por outro objeto ou fenômeno, garantindo haver certa correspondência de propriedades entre os mesmos. O representante e o representado possuem correlação entre si, de forma que se possa manter com o substituto interações diversas análogas às que se teria com o substituído. A Figura 8 mostra a representação virtual de uma usina hidrelétrica com uma composição estética atrativa para o aprendiz.

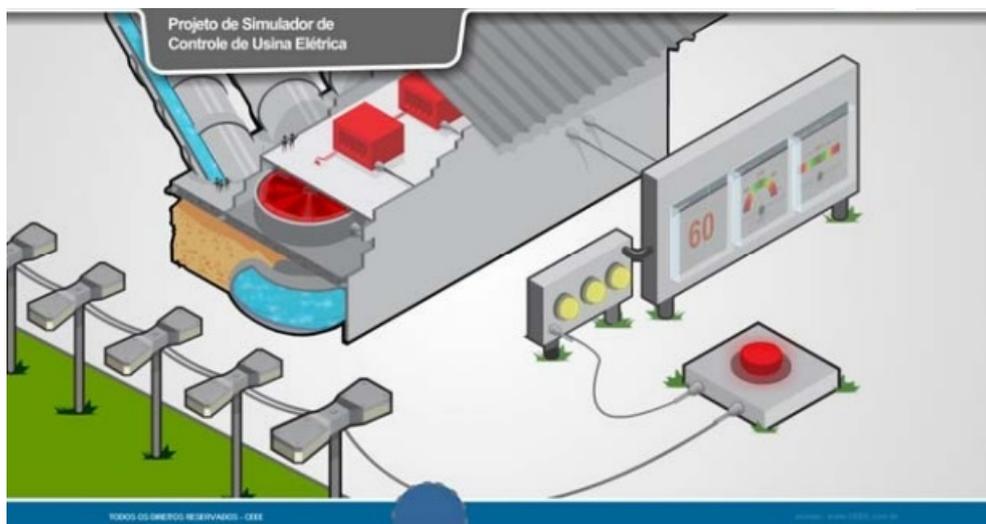


Figura 8: Representação virtual do simulador de usina hidrelétrica.

Fonte: GRASSI et al., 2013.

Segundo Grassi et al. (2013), o objeto de aprendizagem, em sua composição original, não permite que os controles sejam acionados sem o correto ajuste, uma vez que isto oferece riscos à integridade do operador. O simulador de usina hidrelétrica, por sua vez, foi construído para aceitar os erros de ajuste do aluno, a fim de que o instrutor possa orientá-lo quanto aos procedimentos corretos.

Na representação virtual do simulador de usina hidrelétrica foi incluída a compreensão de seu funcionamento no ambiente real. Por conseguinte, o OAV resultante permite que o aluno vivencie uma situação de aprendizado com segurança, explorando conceitos que em sala de aula não seriam viáveis de outra maneira.

3.4 ATIVIDADES INDUSTRIAIS CONSIDERADAS

Aqui é feita uma descrição das indústrias que atuam no parque industrial virtual considerado em animação gerada neste trabalho.

3.4.1 Indústria Têxtil

A indústria têxtil tem como objetivo transformar a matéria prima (tecidos e aviamentos) em roupas. Pizyblski et al. (2013) mencionam que a quantidade de materiais utilizada na produção gera uma significativa quantidade de resíduos no processo produtivo. A tendência atual é gerar produtos que respeitem o meio ambiente, realizando um sistema de gestão de resíduos.

A geração de resíduos em indústrias de confecção ocorre diariamente, a partir de operações de produção como o corte dos moldes nos tecidos. Os resíduos possuem a forma sólida e são compostos por diferentes variações de volume e composições (MILAN; VITTORAZZI; REIS, 2010).

A etapa da geração das ideias é primordial para o desenvolvimento dos produtos, pois os desenhos serão transformados em moldes, que posteriormente se tornarão uma peça piloto, e se a peça piloto for aprovada, fará parte da coleção.

O setor de compras é responsável pela organização e aquisição de matérias-primas, aviamentos e insumos para a produção.

O setor de modelagem é responsável pelo sucesso comercial da coleção, pois é o departamento responsável pela viabilização e estruturação dos produtos a serem confeccionados.

Depois seguem as etapas de risco e corte. A etapa do risco significa encaixar o molde no tecido e posteriormente contornar o molde com o giz próprio para costura, marcando o tecido.

A etapa da costura é onde as partes das peças serão montadas e costuradas, resultando na peça acabada. É o setor fundamental e mais importante do processo de produção. Os

resíduos nesta etapa são pontas de linha, restos de tecidos e agulhas. Todos esses materiais podem e devem ser reciclados. Porém, o óleo utilizado para lubrificação das máquinas e equipamentos presentes neste processo, requer maior atenção quanto a sua fórmula química, pois são nocivos à saúde.

Depois de montadas e costuradas, as peças precisam passar pelo setor de inspeção, para a verificação de falhas na costura, além de serem retiradas as pontas de linha que restaram ao final da costura.

Após a inspeção e limpeza, as peças passam para o setor de acabamento, onde podem ser colocados os botões quando as peças os tiverem, e/ou podem ser realizados os bordados. Os bordados podem ser feitos em máquinas ou à mão (pedrarias). Nesse setor também pode ser realizada a etiquetagem das peças. Quando as mesmas não foram etiquetadas no setor de costura, por se tratar de peças mais delicadas, devem ser colocadas as etiquetas nesse setor de acabamento.

O setor de embalagem consiste em embalar as peças, acondicionando-as em embalagens apropriadas para cada tipo de peça. Depois de embaladas, as peças são encaixotadas de maneira que cheguem perfeitamente ao cliente final.

Após serem ensacadas, as peças são dispostas em caixas de papelão com capacidade que pode variar de 1 até 15 peças (dependendo do tamanho do pedido e do volume que as peças ocupam nas caixas). Estas caixas podem ser armazenadas no setor de estoque, podendo ser em prateleiras, ou em um depósito, para posteriormente serem enviadas aos clientes.

Por fim, o setor de expedição, que de acordo com as datas dos pedidos dos clientes, enviará as peças embaladas em caixas para os clientes.

Nos processos de produção de uma indústria de confecção analisada, situada na cidade de Ponta Grossa – PR, os resíduos encontrados podem ser observados na Tabela 1.

Etapas de Produção da Indústria Têxtil	Resíduos Sólidos Têxteis de Cada Etapa
Setor de Criação	Papéis
Setor de Modelagem	Sobras de papel dos moldes
Setor de Risco e Corte	Restos de papel e retalhos de tecidos
Setor de Confecção/ Costura	Retalhos de tecidos, linhas, cones de fios, óleo lubrificante das máquinas, sapatas de metal das máquinas que estão quebradas ou enferrujadas e agulhas quebradas
Setor de Limpeza / Inspeção / Acabamento	Restos de linhas, peças com defeito
Setor de Passadoria	Não gera resíduos
Setor de Embalagem	Sacos plásticos, etiquetas, papéis e caixas
Setor de Estoque/ Expedição	Sacos Plásticos, etiquetas, papéis e caixas

Tabela 1: Setores da produção e os resíduos gerados.

Fonte: PIZYBLSKI et al. (2013)

Além de analisar os resíduos gerados pelos setores de produção da empresa, verificaram-se também os tipos de tratamento realizados, conforme pode ser visto na Tabela 2.

Resíduos da Indústria Têxtil	Tramento Realizado pela Indústria Têxtil
Sacos Plásticos	São armazenados no estoque da empresa e posteriormente reutilizados
Retalhos	São encaminhados para duas pessoas que os transformam em produtos vendáveis como panos feitos com a junção das peças dos retalhos e estopa
Resíduos de Papel	As caixas de papelão e os cones plásticos são encaminhados para a reciclagem
Óleo Lubrificante de Máquinas de Costura/ Overloque	Não possui um destino de reciclagem, são jogados em lixo comum
Sapatas de Máquinas	Não possuem um destino de reciclagem, são jogados em lixo comum
Agulhas Quebradas	Não possuem um destino de reciclagem, são jogados em lixo comum

Tabela 2: Resíduos gerados e tratamento realizado pela empresa.

Fonte: PIZYBLSKI et al. (2013)

A geração de resíduos foi abordada de forma sucinta, de modo a priorizar a identificação e caracterização dos resíduos sólidos que são descartados no setor de confecção têxtil da empresa em estudo.

O setor de costura gera resíduos de óleo, pois as máquinas necessitam que o óleo lubrificante seja trocado periodicamente. Seria adequado encaminhar esse óleo para ser re-refinado e posteriormente reaproveitado em outros processos. Alguns processos tecnológicos chamados de “re-refino” são capazes de extrair essa matéria-prima com a mesma qualidade do primeiro refino, atendendo às especificações pré-estabelecidas pela instituição reguladora desse produto.

Com relação aos resíduos de metal como as sapatas de máquinas e as agulhas quebradas, não se identificou na literatura uma reciclagem específica para esses itens, sabe-se somente que os mesmos devem ser descartados em embalagens reforçadas, para prevenir a contaminação.

Verificou-se a preocupação da empresa pesquisada em separar os resíduos por setor e destinar para a reciclagem. Os retalhos que sobram são armazenados em caixas, em grandes sacos plásticos ou em um grande vasilhame, para que outra empresa ou outra pessoa especializada faça o recolhimento desses materiais. Normalmente os retalhos são transformados em panos de limpeza (os pedacinhos são costurados e emendados). Com relação às embalagens dos cones, os mesmos são separados e enviados para uma empresa que recicla plásticos.

3.4.2 Indústria Moveleira

As informações a respeito desta atividade foram abordadas no artigo de Cassilha et al. (2011). Apesar de que possa ser substituída, em algumas aplicações por novos materiais, a madeira continua sendo o insumo central na produção de móveis. A cadeia produtiva da madeira pode ser segmentada em três grandes vertentes, se considerados os distintos usos finais. São elas: o processamento mecânico, o de papel e celulose e, o de energia, representado pela lenha e carvão vegetal (IBQP, 2002. p.32). Para a indústria considerada, a cadeia de processamento mecânico será destacada das demais. Este segmento caracteriza-se pela utilização da madeira bruta e a aplicação de processos mecânicos para seu desdobramento em três estágios de processamento.

No primeiro processamento, as laminadoras transformam a madeira bruta em lâminas de madeira torneadas ou faqueadas que serão usadas na fabricação de painéis compensados ou de painéis reconstituídos, como os painéis de aglomerado e MDF (medium density fiberboard). Neste mesmo estágio de processamento, a etapa de serraria tem como produtos mais característicos semiblocos, blocos, pranchões, pranchas, vigas, vigotes,

caibros, tábuas, sarrafos e ripas. Para a obtenção destes produtos utiliza-se de serra circular, serra fita ou similar para o desdobro, destopo ou refile (IBPQ, 2002. p.34).

No segundo processamento destaca-se a transformação das peças obtidas na serraria em peças de menores dimensões. O compensado, um dos principais produtos obtidos nesta fase de industrialização, é um painel fabricado através de lâminas coladas transversalmente em número ímpar de camadas, classificadas de acordo com suas características de fabricação, utilização e tipo de adesivo empregado. Outro tipo de painel é aquele denominado painel reconstituído, em que a madeira bruta é triturada, transformando-se em cavacos que impregnados de resinas sintéticas formam o aglomerado, MDF e OSB (oriented strand board).

Na última etapa do processamento utilizam-se os produtos obtidos na fase anterior para a produção moveleira e marcenaria, para a fabricação de artigos torneados, esquadrias, utensílios de madeira, enfeites e móveis sob medida. E também na construção civil, são utilizados painéis de madeira para a confecção de formas de concreto em edifícios, casas de madeira e arremates.

No Brasil, a madeira é uma das principais matérias-primas utilizada na produção industrial moveleira. Entre as madeiras brasileiras oriundas de reflorestamento, somente as do gênero Pinus têm importância para a indústria de processamento mecânico (HÜEBLIN, 2000. p.130). Quanto à produção de MDF, a madeira é obtida de reflorestamento, utilizando-se espécies selecionadas de Pinus em função do melhor rendimento agro-industrial. Além deste aspecto, as fibras de Pinus proporcionam uma chapa de cor clara, mais valorizada pelo mercado.

A indústria moveleira conta com uma organização complexa, principalmente porque seu processo produtivo não está organizado para um tipo exclusivo de matéria-prima. A produção de móveis faz a transformação de vários outros elementos componentes das peças como plástico, metal, tecido, e outros.

A geração de resíduos é consequência direta da transformação da madeira maciça ou painéis de madeira reconstituída. De acordo com suas características morfológicas podemos classificar os resíduos como cavacos (partículas com dimensões máximas de 50 x 20 mm, em geral provenientes do uso de picadores), maravalha (resíduo com mais de 2,5 mm), serragem (partículas de madeira provenientes do uso de serras, com dimensões entre 0,5 a 2,5 mm), e por fim, o pó (resíduos menores que 0,5 mm).

Considerando-se as três principais etapas de processamento mecânico da madeira, são gerados subprodutos com variadas aplicações comerciais que podem ser assim resumidas (IBQP, 2002.p.35):

1. Na primeira etapa de processamento são gerados: a serragem (partículas de madeira menores que 1 mm de diâmetro, provenientes do uso de serras), os cavacos ou chips (partículas com dimensões máximas de 50 x 20 mm, em geral provenientes do uso de picadores), os cepilhos (peças de madeira com diferentes tamanhos; várias faces planas e dimensão longitudinal mais de quatro vezes maior que as dimensões transversais) e as costaneiras (partes resultantes do desdobro primário dos fustes nas faces, onde se encontra a casca da árvore, sempre com apenas uma das faces longitudinais plana).
2. Na segunda etapa de processamento são gerados: tocos de madeira e restos do processo de serragem, beneficiamento, carpintaria ou caixaria. Produtos característicos desta etapa: *clear blocks* e briquetes.
3. Na terceira etapa são gerados: resíduos como cavacos, serragem, maravalha e pó, bem como peças com defeitos.

Os resíduos de madeira podem ser utilizados tanto na confecção de material combustível, na agricultura, na geração de energia elétrica em termoelétricas, e principalmente na indústria de painéis reconstituídos (IBQP, 2002. p.95).

Os principais resíduos da indústria madeireira são: a) a serragem, originada da operação das serras, que pode chegar a 12% do volume total de matéria-prima; b) os cepilhos ou maravalhas, gerados pelas plainas, que podem chegar a 20% do volume total de matéria-prima, nas indústrias de beneficiamento; c) a lenha ou cavacos, composta por costaneiras, aparas, refilos, cascas e outros, que pode chegar a 50% do volume total de matéria-prima, nas serrarias e laminadoras (HÜEBLIN, 2000.p.130).

3.4.3 Indústria Coureiro-Calçadista

No Brasil existem cerca de 2.000 indústrias processadoras de couros distribuídas entre curtumes e acabadoras, e mais de 5.000 fábricas de calçados e de artefatos, cujas matérias-primas são respectivamente as peles em estado fresco ou salgado; couros em estado *wet-blue* ou *wet-white*, e couros em estado semi-acabados e acabados (CULTRI et al., 2006).

O setor coureiro no Brasil produz em média 1.400 toneladas de resíduos por dia, sendo que apenas a cidade de Franca responde pela produção de 160 toneladas/dia. Com isso, evidencia-se a necessidade de determinar locais apropriados para a destinação, devendo ser respeitados em função da periculosidade dos mesmos. Em razão dessa necessidade, na cidade de Franca foi implantado um novo aterro sanitário para receber resíduo industrial e doméstico pelo período mínimo de 25 anos, construído sob critérios tecnicamente rigorosos visando a preservação ambiental com capacidade estimada para receber 100 e 200 toneladas por dia, respectivamente.

Na transformação da pele em couro, e do couro em sapatos e artefatos, mais de 40% da matéria-prima posta em operação é descartada como resíduo, tanto junto às águas residuais como em resíduos sólidos. Sendo o couro uma das principais matérias-primas do calçado, que em suas várias fases de curtimento recebe insumos altamente poluentes, causa preocupação aos gestores comprometidos com políticas de preservação ambiental para que haja efetiva parcimônia do setor com a P+L. De maneira geral, por causar poluição às fases de curtimento do couro que utilizam o curtente sulfato de cromo e o cal para inchar e corrigir o pH das peles salgadas, o sulfeto de sódio usado para remover os pêlos do couro ou os ácidos sulfúrico e fórmico empregados na preparação para o curtimento, também conhecido como piquelagem devem seguir a acuidade das normas para seu descarte.

De acordo com Sousa (2006) cada tonelada de pele bovina salgada gera cerca de 100kg de lodo seco. Os resíduos provenientes da pele bruta são ricos em colágenos e gorduras e classificam-se em resíduos sólidos não curtidos, que compreendem materiais como aparas não caleadas, aparas caleadas, carnaça e demais resíduos de beira da manta do couro. Outros tipos de resíduos são classificados como resíduos sólidos curtidos, pois provém da estação de tratamento de efluentes e são ricos em cromo III e VI. Do tratamento de efluentes tem-se os lodos com cromo; das operações de rebaixe, lixamento e recorte em estágio final tem-se a serragem, o farelo, as raspas ou os retalhos, e das operações de cortes de calçados e artefatos tem-se as aparas ou retalhos.

O planejamento da gestão ambiental na indústria de calçado deve conter características singulares do setor com estratégias efetivas e ações decisivas para superar os problemas internos e externos, conquistar os mercados mais exigentes e, sobretudo, garantir o desenvolvimento sustentável. A qualidade do calçado acabado depende da associação de propriedades originais de componentes químicos, metais, papel, couro entre outros

adicionados durante o processo de fabrico. Entre os materiais tradicionais para fabricação de calçados destacam-se o couro, sola de couro, borracha, policloreto de vinila – PVC, poliuretano – ABS (p/ saltos) e EVA. Com relação aos resíduos sólidos na fabricação de calçados, Sousa (2006) salienta que os resíduos perigosos que compreendem materiais como couro atinado, couro cromo, sapatos com defeitos, pó de couro, varrição de fábrica, rachado, miolo/vira/atinado, resto de facheiro, resto de atinado e resto de recouro. E no grupo dos resíduos não inertes II tem-se EVA, sola PU, tecido PU, contraforte, borracha, papelão, cursel, palmilha rosa, telas de não/tecido, palmilha/papelão/PU, dublados e micro duro.

Logo, a exigência de responsabilidade ambiental deve ser difundida entre todos os integrantes da cadeia de fornecedores, entre os quais figuram agentes da cadeia do couro, do plástico, do papel e de metais objetivando atuação integrada, dotada de desenvolvimento sustentável, capaz de produzir com qualidade e responsabilidade ambiental duradoura.

Da análise bibliográfica e da pesquisa de campo verificou-se carência do setor com relação ao tratamento efetivo dos resíduos industriais do setor calçadista. Neste sentido, é sabido que para a eficácia da gestão de responsabilidade ambiental corporativa, importante se torna o envolvimento de todos os agentes, que de qualquer maneira, contribuem para o desenvolvimento econômico-social. E neste contexto, a abordagem sistêmica planejada na empresa de calçados permite a visualização dos elementos que se relacionam direta e indiretamente com a organização e que podem se comprometer com respeito e preservação ambiental, de modo a reciclar, reutilizar, reduzir o consumo de materiais em todas as fases do processo de fabricação de calçados.

A influência dos materiais alternativos para a fabricação de calçados é uma tendência que se comprova, pois foi percebida na fase de pesquisa de campo realizada em lojas de shoppings de calçados, que é possível encontrar calçados de couro sintético, laminado sintético, couro de peixe, cobra, rã, bucho de boi, pé de peru, pneus, crochê, pano e lonas. Assim, essa diversidade de materiais contribui para a geração de alternativas visando o aproveitamento menos poluente possível de componentes químicos perigosos, como é o caso do curtente de couro.

3.4.4 Indústria de Fertilizantes

As informações a respeito desta atividade foram abordadas no trabalho de Schifino et al. (2013). Um método de reutilização de aparas de couro é sua utilização em adubos orgânicos, já que esse resíduo possui considerável valor corretivo e fertilizante. Além de conter elementos essenciais para a nutrição das plantas.

Para aumentar a produtividade agrícola é de extrema importância que o solo forneça os nutrientes necessários ao desenvolvimento de plantas. Nem sempre, porém, o solo disponibiliza esses nutrientes de forma satisfatória, por isso a importância da adubação. A adubação tem importância inclusive na questão ambiental, uma vez que quanto mais produtivo for determinado plantio, menor a área necessária para produzir o equivalente.

A empresa pesquisada neste setor visa eliminar o passivo ambiental gerado pelo setor coureiro/calçadista, recuperando os resíduos de couros curtidos. A indústria tem capacidade para recuperar 100 toneladas diárias de resíduos curtidos que seriam destinados a aterros industriais.

Os resíduos de couro curtidos descartados pelos curtumes e fábricas de calçados podem ser recuperados e transformados para produção do adubo que se destina à agricultura especializada.

Para a produção do fertilizante, os resíduos de couro curtido são hidrolisados em reatores especiais, num ambiente controlado, com alta temperatura e alta pressão, promovendo sua transformação em gelatina. Os reatores de hidrólise térmica e enzimática são mostrados na Figura 9.

Em seguida, a gelatina passa por um processo de secagem, a uma temperatura controlada, onde é estabilizada e sucessivamente enviada para peneiramento, gerando adubos orgânicos, com diferentes granulometrias, prontos para expedição. O processo não utiliza produtos químicos e atende todas as exigências ambientais do país para o qual é exportada toda produção.



Figura 9: Reatores de hidrólise térmica e enzimática.

Fonte: SCHIFINO et al., 2013.

O produto gerado é um adubo rico em nitrogênio de origem protéica, um adubo orgânico nitrogenado mais utilizado pelos agricultores europeus. É um produto natural, muito conhecido por aqueles que praticam a agricultura biológica. É altamente eficiente e, por isso, usado em todas as culturas de valor.

3.4.5 Usina de Tratamento Térmico de RSU

A empresa considerada está localizada no Rio de Janeiro e tem a missão de oferecer aos municípios brasileiros uma alternativa ambientalmente correta e economicamente viável para o equacionamento da questão sócio-ambiental representada por lixões e aterros irregulares, ameaças vivas ao clima, às imensas reservas de água potável de nosso país e à saúde das populações.

Segundo Ramires (2009) a usina é pioneira, no Brasil, no desenvolvimento de tecnologia e processos para a implantação de usinas de tratamento térmico de RSU com recuperação de energia.

A usina é detentora de duas patentes:

- INPI 9404414-7 - Processo de mineralização de resíduos orgânicos, registrada no Brasil, Argentina, Chile, Uruguai e Paraguai;
- INPI 9804473-7 - Patente de hélices turbinadas para lavadores de gases da incineração de resíduos, registrada no Brasil, Argentina, Chile, Uruguai e Paraguai, União Européia e Austrália.

Como objetivos empresariais secundários estão a adaptação da tecnologia para o tratamento de RSI não perigosos e dos resíduos dos serviços da saúde, produzindo energia elétrica e/ou térmica para o consumo dos próprios geradores dos resíduos.

O projeto é classificado como ‘Mecanismo de Desenvolvimento Limpo’, por evitar a emissão do metano e por gerar energia alternativa, e foi aprovado em 14 de outubro de 2005 pela Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. A comprovação das emissões de CO₂ evitadas foi certificada em 2007 pelo Bureau Veritas Certification.

O processo de tratamento térmico e geração de energia a partir dos resíduos urbanos é precedido por criteriosa seleção manual/mecânica de todos os materiais recicláveis – garrafas PET, papelão, latas de aço e de alumínio, vidros, etc. que serão destinados à indústria de reciclagem.

Somente são submetidos ao tratamento térmico a matéria orgânica e os resíduos combustíveis não recicláveis (papel e plástico contaminado com matéria orgânica, etc), ou seja, exatamente o material que seria destinado ao aterro sanitário.

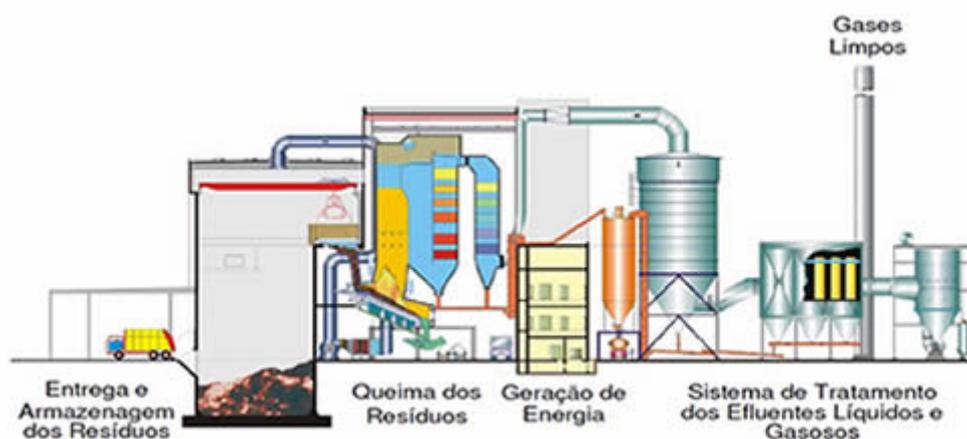


Figura 10: Fluxograma esquemático da usina.

Fonte: RAMIRES, 2009.

O tratamento térmico dos resíduos no forno ocorre, em média, a 950° C. A oxidação dos gases, na câmara de pós-queima, ocorre a +/- 1050°C, com tempo de residência de 2 segundos. As cinzas são recolhidas em arrastadores submersos em corrente de água e lançadas no decantador.

Os gases quentes (cerca de 1.000°C) são aspirados através de uma caldeira de recuperação, onde é produzido vapor a 45Bar de pressão e 420°C.

O vapor gerado pela caldeira acionará um turbo-gerador com potência efetiva de 3,2MW, gerando aproximadamente 0,6MW de energia elétrica por tonelada de lixo tratado. É muito importante observar-se que a energia gerada é um sub-produto do

processo de destinação final ambientalmente correta do lixo urbano, e como tal, uma unidade de tratamento de RSU jamais deve ser comparada com hidrelétricas ou termelétricas, cuja única função exclusiva é gerar energia . O processo, além de aproveitar o potencial energético contido em resíduos que seriam simplesmente enterrados, contribui com a conservação da energia contida nos materiais segregados para fins de reciclagem (alumínio, metais ferrosos, vidros etc..).

Os gases exauridos da caldeira de recuperação são neutralizados por processo de lavagem em circuito fechado (lavadores e tanque de decantação) não havendo a liberação de quaisquer efluentes líquidos.

O processo de lavagem ocorre em dois estágios: no 1º estágio, ocorre a lavagem e redução da temperatura com o uso de *spray jets*; no 2º estágio os gases resfriados são forçados a passar por “barreiras” de solução de lavagem criadas por hélices turbinadas existentes no interior dos lavadores, ocorrendo o chamado “polimento dos gases”.

Os gases exauridos da caldeira de recuperação são neutralizados por processo de lavagem em circuito fechado (lavadores e tanque de decantação) não havendo a liberação de quaisquer efluentes líquidos.

O processo de lavagem ocorre em dois estágios: no 1º estágio, ocorre a lavagem e redução da temperatura com o uso de *spray jets*; no 2º estágio os gases resfriados são forçados a passar por “barreiras” de solução de lavagem criadas por hélices turbinadas existentes no interior dos lavadores, ocorrendo o chamado “polimento dos gases”.

Os gases limpos, após passagem por eliminador de gotículas (demister), são liberados para a atmosfera pela chaminé. Exaustores instalados imediatamente antes da chaminé garantem que todo o sistema de gases, desde o forno até a saída dos lavadores ocorra em pressão negativa.

Contrariamente à maioria dos sistemas de limpeza dos gases e vapores da incineração de lixo urbano adotados no mundo, que utilizam principalmente ‘filtros de manga’ de elevado custo de aquisição e manutenção, a rota tecnológica patenteada para a neutralização dos gases e vapores tem como base uma solução de água alcalinizada com as cinzas do próprio processo e hidróxido de cálcio.

Os resultados que vêm sendo obtidos encontram-se em perfeita conformidade com as normas ambientais, como pode ser observado na Tabela 3:

ENQUADRAMENTO NA RESOLUÇÃO CONAMA 316/2002

Substância	Concentração (mg/Nm ³)	Oxigênio Medido (% vol)	Concentração Corrigida (mg/Nm ³)	Limite Legal (mg/Nm ³)
Gases				
Cloro (Cl ₂)	27,73	10,5	37,05	ND
Ácido Clorídrico (HCL)	20,21	11,3	32,16	80
Ácido Fluorídrico (HF)	0,1	12	0,12	5
Óxido de Nitrogênio (Nox)	221,18	11,3	319,23	560
Óxido de Enxofre (Sox)	6,52	11,3	8,61	280
Material Particulado	28,04	11,3	38,42	70
Dioxinas & Furanos	0,08ng/Nm ³	9,6	0,10ng/Nm³	0,50ng/Nm³
Metais Pesados				
CLASSE I				
Cádmio (Cd)	0,079	11	0,111	
Mercúrio (Hg)	<0,0001			
Total Classe I			0,111	0,28
CLASSE II				
Níquel (Ni)	0,035	11,9	0,054	
Total Classe II			0,054	1,4
CLASSE III				
Chumbo (Pb)	1,304	13,7	2,501	
Cromo (Cr)	0,07	13,7	0,134	
Cobre (Cu)	0,333	13,7	0,639	
Flúor (F)	0,63	11	0,882	
Total Classe III			4,156	7

ENQUADRAMENTO NA RESOLUÇÃO CONAMA 264/1999

Hidrocarbonetos voláteis	635,22 µg/m ³	12	988,12 µg/m³	39290 µg/m³
--------------------------	--------------------------	----	--------------------------------	-------------------------------

Tabela 3: Concentrações de poluentes e limites na Resolução CONAMA.

Fonte: RAMIRES, 2009

A tecnologia também está absolutamente alinhada com o “Sumário para Formuladores de Políticas” elaborado pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC/ONU, 2007), quando recomenda especificamente a incineração de resíduos com geração de energia como rota preferencial para a destinação final dos resíduos urbanos, pois impede a formação do biogás de aterro responsável por 3% do total de emissões dos gases do efeito estufa.

O escopo do projeto de MDL da usina do Centro Tecnológico (CT) da usina em questão é, exclusivamente, a eliminação das emissões do gás metano que seria gerado, caso a

mesma matéria orgânica tratada termicamente fosse depositada em seu destino final atual (Aterro de Gramacho/RJ). Entretanto, nas usinas comerciais este escopo poderá ser bastante ampliado, considerando:

a) A localização da unidade ao lado de um aterro ou lixão desativado, com a captação do biogás e sua utilização como combustível auxiliar no processo ou mesmo na geração de energia adicional, dará margem a créditos de carbono oriundos da redução de emissão do metano (cerca de 50% da composição do biogás de aterro) gerado pelo material ali depositado.

b) A substituição da energia produzida a partir de combustíveis fósseis pela energia gerada a partir do lixo é considerada internacionalmente como fonte alternativa e renovável. No norte do Brasil, por exemplo, parte expressiva da energia consumida é gerada em termelétricas a diesel.

c) Redução das emissões do transporte do lixo, durante a coleta e na transferência para o aterro, que em geral localiza-se distante dos centros geradores de resíduos.

3.4.6 Reciclagem de PET

O caso apresentado tem buscado causar menos impacto ambiental em todo o seu processo produtivo, através de investimentos. Nesta linha, a empresa lançou o produto lona PET, que incorpora as embalagens PET (Politereftalato de Etileno), cuja utilização registra crescimento acelerado, fato preocupante no que diz respeito à proteção ambiental (SILVA, 2008).

O lona PET (Figura 11) é um artigo composto de fio de algodão reciclado dos resíduos da fiação convencional e poliéster feito de garrafas PET verde. O acabamento deste produto é feito com um fluxo de beneficiamento que diminui os impactos no meio ambiente, economizando assim recursos naturais, como a água. Este processo confere um aspecto rústico do algodão, em contraste com a lisura do fio verde.



Figura 11: Foto ampliada da lona PET.

Fonte:

http://www.guiatextil.com.br/portal2008/index.php/noticias/empresa/horizonte_textil_in_veste_em_novos_produtos_para_o_consumo_responsavel

O produto, conforme informações da empresa, por possuir estrutura resistente, pode ser utilizado em vários segmentos como: vestuário; acessórios (por exemplo, em bolsas, malas, mochilas, bonés, chapéus, pastas); calçados (sapatos esportivos, tênis, botas); e decoração (capas de almofadas, sofás, cortinas, revestimentos de cadeiras, entre outros). A Figura 12 apresenta uma ecobolsa elaborada com lona PET.

Segundo a empresa, com a transformação dos resíduos sólidos do PET em fibra para a indústria têxtil, fio de poliéster para a produção de tecidos com material reciclado (chamado de lona PET), 41% das garrafas de PET podem ser reaproveitadas no país, evitando assim uma destinação inadequada.



Figura 12: Foto de ecobolsa (sacola confeccionada com o lona PET).

Fonte: <http://ecotrendstips.wordpress.com/2008/04/17/o-bom-negocio-da-sustentabilidade/>

3.4.7 Reciclagem de Lâmpadas

A história da empresa pesquisada começou em Curitiba no ano de 1998, quando o seu fundador teve a sensibilidade de observar a carência do mercado em empresas especializadas na destinação final de lâmpadas de vapores metálicos, e na descontaminação do mercúrio e outros metais pesados contidos neste material. Foi a partir disso que se iniciou o processo de pesquisas, estruturação e desenvolvimento do projeto, através do Programa Disque-Tecnologia do Centro Federal de Tecnologia do Paraná (CEFET-PR), onde a estrutura conceituada na geração tecnológica abrigou todas as etapas necessárias à execução do projeto "Descontaminação de Metais Pesados Contidos em Lâmpadas de Vapores". Desde então, a companhia não parou; com um crescimento acentuado, sua ação foi direcionada no sentido da produtividade aliada à qualidade, conceito estratégico dos novos tempos exigido pelo perfil dos clientes (MEDEIROS, 2009).

A empresa executa exclusivamente o trabalho de descontaminação de lâmpadas inservíveis, separando os subprodutos e tornando-os reutilizáveis em processos de manufatura industrial (Figuras 13, 14 e 15).

Dispondo de uma equipe profissional responsável, equipada e devidamente treinada, executam o processo de descontaminação impedindo o descarte incorreto de lâmpadas esgotadas, resíduo abundante que já pode estar causando danos à saúde e ao meio ambiente. Trabalha com os tipos de lâmpadas: fluorescentes, de vapores de mercúrio e sódio, mistas, eletrônicas compactas, incandescentes e equipamentos de medição com princípio ativo de mercúrio.

A empresa também oferece seus serviços orientando quanto ao manejo, acondicionamento, estocagem, transporte e legislação aplicável. Sempre com o interesse de minimizar os efeitos do descarte incorreto de lâmpadas, juntamente com o intuito de dar mais uma opção para as empresas sérias, competentes, e conscientes da necessidade de preservar o meio ambiente.



Figura 13: Início do processo de descontaminação do mercúrio.

Fonte: MEDEIROS, 2009.



Figura 14: Lâmpadas de vapores de mercúrio.

Fonte: MEDEIROS, 2009.



Figura 15: Interior do site de descontaminação.

Fonte: MEDEIROS, 2009.

3.4.8 Reciclagem de Óleos Lubrificantes

A indústria considerada é produtora de óleos lubrificantes e também atua no segmento de re-refino. A empresa conta com uma frota de mais de 60 caminhões tanques com capacidade total de armazenagem superior a 6.000m³. Seu portfólio de produtos contempla óleos lubrificantes automotivos e industriais.

Fortino (2009) menciona que considerando o potencial de danos ambientais que o óleo usado ou contaminado representa, existe rigorosa regulamentação que classifica a toxicidade e regulamenta as atividades de recolhimento, coleta e destinação final. O Ministério dos Transportes, o Ministério do Meio Ambiente, a ANP, o IBAMA e os

Órgãos ambientais regionais são os responsáveis pela fiscalização das diversas leis e portarias, que também responsabilizam o produtor, o importador, o revendedor e o consumidor final de óleos lubrificantes ao recolhimento desses resíduos.

O óleo lubrificante usado ou contaminado causa graves danos ambientais se descartado no solo e na água, e a sua combustão gera gases residuais nocivos ao meio ambiente e à saúde pública. Possuem metais pesados como: chumbo, cádmio, cromo, mercúrio e níquel. Por esse motivo, deve ser armazenado em lugar acessível à coleta e em recipientes resistentes a vazamentos.

A indústria realiza o recolhimento e transporte de óleos lubrificantes usados ou contaminados (OLUC) em toda a região Sul. O processamento de resíduo de óleo usado ou contaminado é chamado de re-refino, sendo o único destino correto segundo as regulamentações existentes.

O re-refino é a categoria de processos industriais de remoção de contaminantes, produtos de degradação e aditivos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados, conferindo aos mesmos características de óleos básicos, conforme legislação específica.

Os óleos lubrificantes são compostos 90% de óleos neutros (primeiro refino) e 10% de aditivos. São responsáveis por 10% da contaminação dos oceanos e são potencialmente carcinogênicos.

As principais normas atendidas destes órgãos fiscalizadores são:

- PORTARIA ANP nº125 - Atividade de recolhimento e Coleta de OLUC
- PORTARIA ANP nº126 - Atividade do Produtor de Lubrificante
- PORTARIA ANP nº127 - Atividade do Coletor de OLUC
- PORTARIA ANP nº128 - Atividade do Rerrefinador
- PORTARIA ANP nº129 - Especificações óleos Básicos 1º Refino
- PORTARIA ANP nº130 - Especificações óleos Básicos Rerrefinados
- RESOLUÇÃO nº10 ANP
- RESOLUÇÃO CONAMA nº362/2005



Figura 16: Esquema de obtenção de óleo re-refinado.

Fonte: FORTINO, 2009.

ASPECTOS DE SEGURANÇA - Transporte

ÓLEO LUBRIFICANTE USADO OU CONTAMINADO

Nome apropriado para Embarque : Substâncias que apresentam Risco para o Meio Ambiente, Líquidas N.E.

NÚMERO DE RISCO **90**

NÚMERO DA ONU **3082**



Classe 9 – Substâncias Perigosas Diversas

Fundamento Legal:
Art.22 do Decreto 96.044/1988
Resolução 420/04 da ANTT.
Portaria 204 do Min. Transportes

Figura 17: Aspectos de segurança no transporte.

Fonte: FORTINO, 2009.

PROCESSO DE RE-REFINO

Os óleos lubrificantes usados contêm produtos resultantes da deterioração parcial de óleos em uso. Além dos produtos de degradação, estão presentes os aditivos que foram adicionados no processo de formulação de lubrificantes e constituintes diversos como água, poeira e outras impurezas.

O processo de re-refino utilizado está dividido nas seguintes etapas:

1º - Recebimento e Filtração

O óleo lubrificante usado recebido é descarregado e homogeneizado. Logo a seguir é analisado pelo Controle de Qualidade, conforme as diretrizes estabelecidas pelas

normas da ABNT e, após a aprovação são filtrados e armazenados em tanques apropriados, localizados dentro de bacias de tancagem providas de barreiras de contenção. Após verificada a qualidade do óleo, é feita então a cotação, ou seja, determina-se o preço a pagar pelo resíduo. A capacidade de estocagem é de 100.000 litros.

2° - Termocraqueamento/Desidratação

Nesta fase do processo, o óleo lubrificante usado é aquecido até 120°C para a retirada de água, e até 280°C para a remoção dos compostos orgânicos de cadeias carbônicas de baixo peso molecular. O sistema é provido de uma série de trocadores de calor, que fazem o aproveitamento energético do aquecimento gerado e de frações que necessitam de troca térmica.

3° - Evaporação Total

O óleo lubrificante seco proveniente do processo de termocraqueamento/desidratação é enviado para a unidade de evaporação total. O processo consiste na aplicação de temperatura elevada (acima de 375°C), alto vácuo e força centrífuga para a separação das frações mais pesadas contidas no óleo. Estas frações são separadas por evaporação e posteriormente condensadas novamente através de poderosos condensadores. Esta etapa gera dois produtos: a liga antiasfáltica e os óleos evaporados.

4° - Tratamento físico-químico

O óleo proveniente da unidade de evaporação total, que é condensado e resfriado a temperatura ambiente, ainda possui algumas quantidades de compostos oxidados a serem separados. Para extraí-los, aplica-se um agente floculante, em quantidades ínfimas, que promove a aglomeração dos compostos oxidados que posteriormente decantam, sendo estes separados após algumas horas. Esta etapa leva o nome de “tratamento ácido” por levar ácido sulfúrico como principal agente.

5° - Clarificação

Nesta etapa o óleo lubrificante proveniente do tratamento físico-químico é bombeado para o sistema de clarificação, onde recebe a adição do agente clarificante. Este processo é responsável pela absorção das partículas que conferem coloração ao mesmo. A temperatura fica na ordem de 350°C, além do vapor para o arraste das frações leves que por ventura ainda estejam presentes no óleo. Para garantir a qualidade do óleo re-

refinado realizam-se, nesta etapa, as análises laboratoriais que visam atender os parâmetros de qualidade da empresa.

6º - Filtração

O óleo misturado ao agente clarificante passa por um sistema de filtros-prensa e mangas, para a retirada dos particulados. Posteriormente, é feito bombeamento para os tanques de óleo básico, com resfriamento à temperatura ambiente. Este óleo re-refinado atende as mais altas exigências de um óleo lubrificante básico mineral.

7º - Gestão de Resíduos

O processo de re-refino de óleos lubrificantes utilizado foi aperfeiçoado ao longo dos anos, possibilitando melhorias no rendimento bem como na redução significativa dos resíduos e efluentes industriais do processo.

Os resíduos gerados no processo são a borra ácida gerada na etapa da floculação (tratamento físico-químico), e a torta de argila e óleo, gerada na etapa de filtração. Todos os resíduos industriais gerados na empresa são enviados para unidades de coprocessamento em fornos de indústrias de cimento, devidamente licenciadas pelos órgãos ambientais competentes. Da mesma forma o tratamento dos efluentes industriais é terceirizado para a CETREL.

4 PARQUE INDUSTRIAL VIRTUAL

O parque industrial virtual gerado neste trabalho, na forma de uma animação, envolve as indústrias anteriormente mencionadas, e situadas próximas à uma cidade de médio porte. A mesma absorverá os produtos das indústrias, e os resíduos gerados na cidade serão parcialmente absorvidos como matéria-prima pelas indústrias. Uma área de floresta receberá os adubos produzidos pela indústria de fertilizantes que recicla os resíduos da indústria coureiro-calçadista.

A Figura 18 mostra a disposição das indústrias no parque industrial, a cidade vizinha e a área de reflorestamento. O referido cenário representa o OAV, que poderá ser acessado através de link, permitindo a interatividade com o usuário.



Figura 18: Parque industrial, cidade vizinha e área de reflorestamento.

As relações entre cada indústria podem ser entendidas através do organograma da Figura 19.

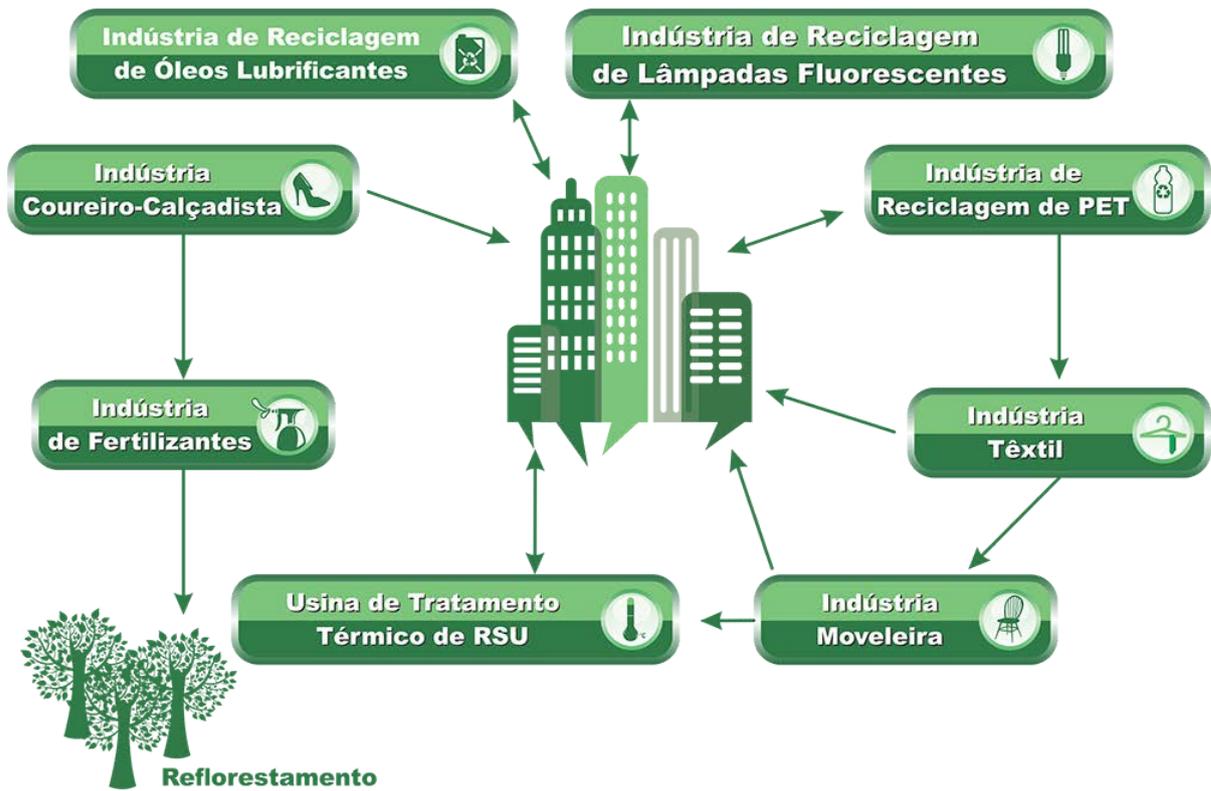


Figura 19: Organograma do Parque Industrial Virtual.

As indústrias, cidade e área de floresta estão relacionadas de maneira que consomem produtos ou gerem resíduos que servem umas às outras.

A indústria de reciclagem de óleos lubrificantes produz os óleos que serão utilizados por carros ou máquinas em geral da cidade, ao passo que a cidade gera óleos usados que voltam para a indústria para serem reciclados. Da mesma forma a indústria de reciclagem de lâmpadas fluorescentes produz lâmpadas que são utilizadas pela cidade e voltam para indústria como matéria-prima para serem processadas.

A indústria de reciclagem de PET, além de produzir garrafas PET que vão para o mercado consumidor, geram o tecido poliéster que pode ser utilizado como matéria-prima pela indústria têxtil. Por sua vez, a indústria têxtil produz peças de vestuário que vão para a cidade e como resíduos geram retalhos de tecidos, fibras e linhas que podem ser utilizados no enchimento de estofados na indústria moveleira. Esta, além de produzir móveis em geral, que se destinam ao mercado consumidor, geram a serragem de madeira como resíduo, que tem poder calorífico para ser queimado em conjunto com os RSU - que vem da cidade do entorno - na usina de tratamento térmico.

A indústria coureiro-calçadista produz calçados que são vendidos na cidade, e como resíduo gera retalhos de couro que é utilizado na indústria de fertilizantes como matéria-prima para produção de adubo, que vai ser consumido na área de reflorestamento.

4.1 INDÚSTRIAS CONSIDERADAS

As indústrias consideradas são detalhadas nos próximos itens.

4.1.1 Indústria Têxtil

A indústria de reciclagem têxtil apresenta como matéria-prima o algodão e outras fibras, como produto final peças de vestuário, e como resíduos retalhos de tecidos, linhas, óleo lubrificante de máquinas, entre outros, que deverão ter descarte adequado, podendo ser doados ou vendidos para outras indústrias do parque industrial para manufatura de outros produtos.

Segundo pesquisas de fábricas de camiseta, gasta-se em média 200 gramas por peça de vestuário. Considerando que a empresa recebe 500 kg de algodão e poliamida por dia, ou 3.000 kg por semana (dias úteis e sábados), ou 12.000 kg por mês, a uma proporção de 1:1 kg de algodão e poliamida processada por roupa gerada, admitindo 0,2 kg por peça de vestuário. Assim, com base na massa de algodão e poliamida recebida por mês, tem-se quantas peças de vestuário são produzidas mensalmente. Sendo assim, são produzidas 60.000 peças de vestuário por mês, cujo valor de venda dependerá de cada tipo de peça.

Se a indústria compra tecido de poliéster da recicladora de PET, o valor do insumo é de R\$10,00/kg. A produção mensal fica em torno de 36.000kg, então o gasto total é de R\$360.000,00/mês. A empresa vende os retalhos de tecido por R\$0,50/kg e produz 2.000kg/mês, assim tem um lucro de R\$1.000,00 com seus resíduos. Cada quilograma de tecido gera uma peça de roupa que pode ser vendida a R\$30,00. Sendo a produção de 30.000kg/mês, a receita mensal é de R\$1.080.000,00.

A Figura 20 mostra os fluxos de recursos na indústria.



Figura 20: Fluxos na indústria têxtil.

4.1.2 Indústria Moveleira

A indústria moveleira, além de usar madeira, usa como matéria-prima os resíduos do processo de fabricação de tecidos, como restos de tecido, linha, seda, algodão reciclado, lã, poliéster, acrílico, poliamida. Como produtos finais gerados tem-se almofadas de estofados. Como resíduos tem-se principalmente restos de papel, tecido, linha, serragem, cavaco e óleo lubrificante das máquinas que poderão ser doados ou vendidos para as empresas do setor dentro do parque, ou ter disposição adequada.

Considerando que a indústria paga R\$1,00 por kg de retalhos que recebe da indústria de vestuário, recebe 400 kg por dia, ou 2.400 kg por semana (dias úteis e sábados), ou 9.600 kg por mês, e o valor de venda do resíduo sólido já incorporado nos estofados é de R\$3,00 por kg, pode-se calcular a receita da empresa considerando apenas:

- que compra por R\$1,00 e vende a R\$3,00;
- que deixa de comprar material de enchimento tradicional que custa R\$5,00/kg;
- que a origem dos resíduos recebidos é a indústria têxtil.

Feitas as considerações, o lucro que a empresa tem é de duas vezes o valor gasto com o material reciclável, visto que gasta R\$9.600,00 por mês em matéria-prima e ganha R\$28.800,00 por mês com produtos vendidos, se vender na mesma proporção. No caso de a empresa comprar material de enchimento tradicional, que em média tem valor de

R\$5,00 por kg, a empresa gastaria R\$48.000,00 em matéria-prima e teria que estipular um preço excessivo para venda de produto para não resultar em uma receita negativa, que seria resultante das vendas a R\$3,00 por kg de produto.

A Figura 21 mostra o esquema de insumo, produto final e resíduo da empresa em questão.

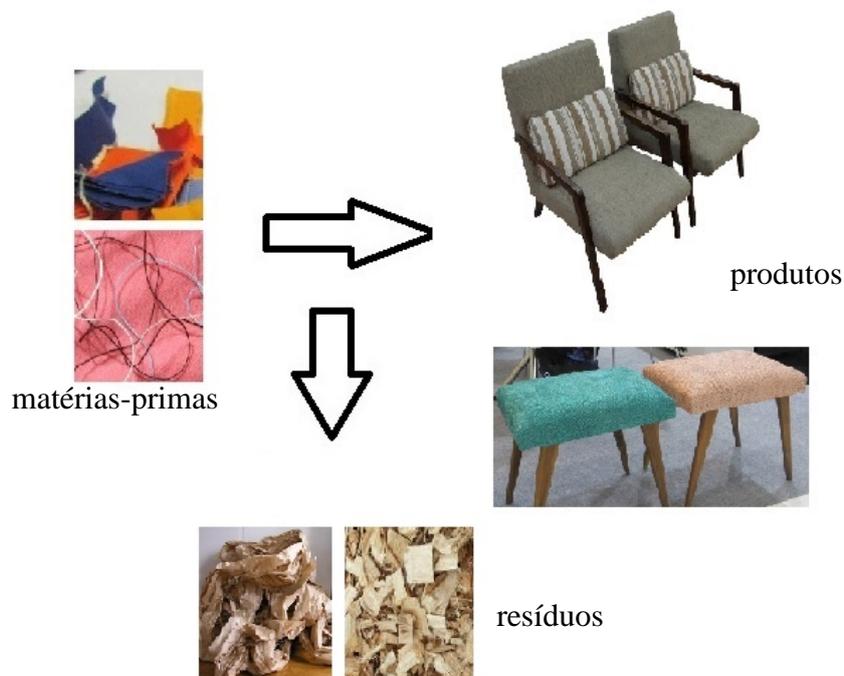


Figura 21: Insumo, produto final e resíduos gerados na indústria moveleira.

4.1.3 Indústria Coureiro-Calçadista

A indústria de reciclagem coureiro-calçadista utiliza como matéria-prima peles em estado fresco ou salgado, couros em estado wet-blue ou wet-white e couros em estado semi-acabados e acabados, como produto final sapatos e artefatos e como resíduos aparas não-caleadas, aparas caleadas, carnaça, lodos com cromo, entre outros que devem ter disposição adequados ou serem reaproveitados como insumo em outras empresas do parque industrial.

Em relação aos resíduos gerados, os retalhos de couro são vendidos a R\$0,50/kg. Considerando uma produção mensal de 2.000 kg, o lucro final fica em torno de R\$1.000,00 por mês. O valor dos produtos depende da quantidade de matéria-prima utilizada e do design da peça, podendo variar entre R\$40,00 e R\$1.000,00, conforme a demanda do mercado consumidor.

A Figura 22 mostra o esquema de insumo, produto final e resíduos.



Figura 22: Insumo, produto final e resíduos na indústria coureiro-calçadista.

4.1.4 Indústria de Fertilizantes

A indústria de fertilizantes utiliza como matéria-prima as aparas de couro geradas no processo de corte de couro, gerando como produto final adubo para a agricultura e como resíduos aparas não caleadas e caleadas, carnaça, material curtido (farelo de rebaixadeira e aparas / tiras curtidas) e lodos dos sistemas de tratamento dos efluentes líquidos que deverão ser dispostos em aterro industrial ou local adequado.

Na Figura 23 está esquematizado o sistema de entrada, saída e resíduos.

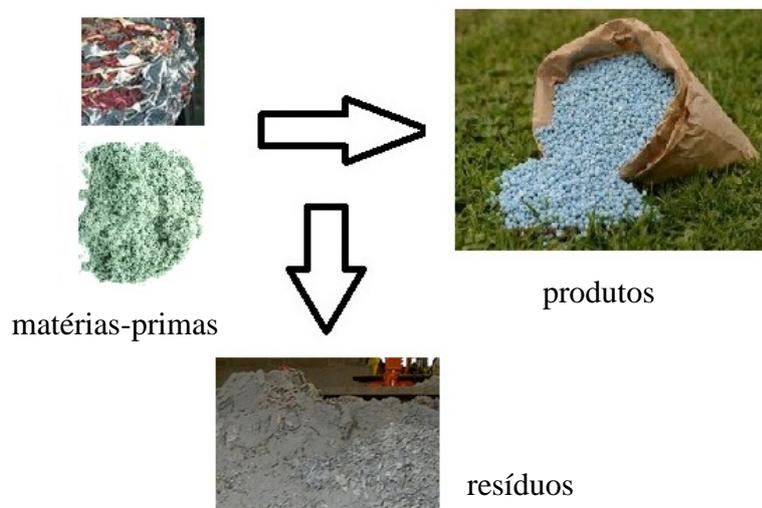


Figura 23: Entrada, saída e resíduos na indústria de fertilizantes.

4.1.5 Usina de Tratamento Térmico de RSU

A usina de tratamento térmico de RSU utiliza os mesmos como matéria-prima. Os resíduos, que vem em sua maior parte da cidade vizinha, e uma parcela menor das indústrias do parque, permitem gerar energia elétrica e/ou térmica que será utilizada pela cidade e parque industrial. Como resíduos gera os segregados que não serão introduzidos no processo (alumínio, metais ferrosos, vidros, etc.), emissões gasosas que devem ser controladas e efluentes líquidos que devem ter disposição adequada.

Diversos tipos de resíduos sólidos serão direcionados a uma usina termelétrica que usa carvão como combustível base, mas recebe outros RSU.

A usina queima, além de carvão, garrafas PET (com impurezas, má conservação), biruta e serragem de madeira não beneficiada, etc.

As garrafas PET destinadas à queima tem custo de R\$0,60/kg, ou seja, 30% do valor da “PET limpa”, R\$2,00/kg, que é utilizada para fabricar roupas e outras garrafas PET. A serragem de madeira tem valor médio de R\$5,00/m³ de acordo com a Tabela 4.

Material	Preço (R\$)
Serragem, maravalha e pó de serra	5,00/m ³
Cavaco de madeira de eucalipto 100% puro, alta densidade, 375kg/m ³ , biomassa	0,012/m ³
Serragem	3,00/unidade
Comércio de serragem	5,00/saco
Serragem seca	33,00/m ³
Maravalha/serragem	Doação
Cavaco, maravalha, serragem de madeira	6,50/saco

Tabela 4: Preços de resíduos de serragem.

Fonte: <http://www.mfrural.com.br>

O teor de matéria orgânica (C, H, O, N) do lixo brasileiro é de 60% conferindo-lhe bom potencial energético. O Poder Calorífico Inferior (PCI) médio do resíduo domiciliar é de 1.300 kcal/kg (5,44 MJ/kg). De acordo com a tecnologia empregada e com a composição físico-química dos resíduos, estima-se a produção de 0,035 MW/t de lixo, através de incineração. O PCI do briquete de serragem de eucalipto é em torno de 4.600kcal/kg, estimando-se em 250W/kg.h a produção de energia a partir da biomassa.

O sistema de entrada, saída e resíduos está representado na Figura 24.

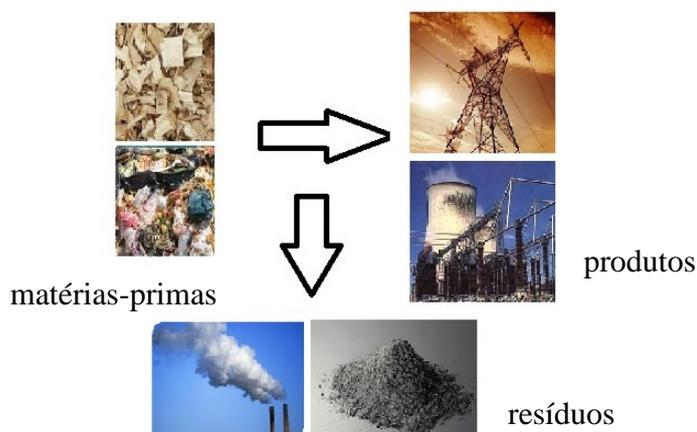


Figura 24: Entrada, saída e resíduos na usina.

4.1.6 Indústria de Reciclagem de PET

A indústria de reciclagem de PET utiliza como insumo as embalagens e recipientes PET gerados na cidade do entorno e nas indústrias do parque. Como produto final tem-se tecidos, vassouras, novas garrafas PET, e como resíduos restos de fibras de tecidos, aglomerados ou pellets que podem ser reincorporados no processo.

Os preços de mercado de resíduos de PET estão representados na Tabela 5:

Material	Tipo	Quantidade (t)	Condições	Preço (R\$/kg)
PEAD	Extrusão	5	Limpo	2,70
PEAD	Injeção	2	Prensado	1,75
PEAD	Rotomoldagem	18	Pós Industrial	2,20
PEAD	Pellets	25	Flakes	3,25
PEAD	Extrusão	5	Flakes	1,75
PEBD	Extrusão	2	Prensado	0,75
PEBD	Injeção	18	Prensado	2,70
PEBD	Rotomoldagem	25	Limpo	1,75
PVC	Pellets	5	Prensado	2,20
PVC	Extrusão	2	Pós Industrial	3,25
PVC	Injeção	18	Flakes	1,75
Nylon	Rotomoldagem	25	Flakes	0,75
Nylon	Pellets	5	Prensado	1,75
Nylon	Extrusão	2	Prensado	2,20

Tabela 5: Preços de resíduos de PET.

Fonte: <http://www.b2blue.com>

Tem-se como origem do PET a Associação de Catadores de Recicláveis. A fábrica compra PET no valor de R\$2,00/kg e vende o tecido de poliéster a R\$10,00/kg. A produção mensal é de 70.000 kg, o que resulta em uma receita de R\$700.000,00/mês.

Considerando que a empresa produz peças de vestuário, pode-se calcular a quantidade gerada estimando os seguintes valores: a fábrica recebe 500 kg PET por dia, ou 3.000 kg por semana (dias úteis e sábados), ou 12.000 kg por mês, a uma proporção de 1:1 kg de PET processado por kg de roupa gerada, admitindo 0,35 kg por peça de vestuário. Assim, com base na massa de PET recebida por mês, calcula-se quantas peças de vestuário por mês são produzidas. Sendo assim, a produção é de 34.285 peças de vestuário por mês para as quais o valor de venda dependerá de cada tipo de peça.

A Figura 25 mostra o esquema de produção.



Figura 25: Insumo, produto final e resíduos na indústria de reciclagem de PET.

4.1.7 Indústria de Reciclagem de Lâmpadas Fluorescentes

A indústria de reciclagem de lâmpadas fluorescentes tem como matéria-prima lâmpadas usadas vindas da cidade vizinha ou das indústrias do entorno; como subproduto o vidro,

o mercúrio, alumínio, latão, chumbo, estanho, cimentos, a “poeira de fósforo” e elementos com função de fixação e isolação elétrica separados que serão vendidos para outras empresas recicladoras; e como resíduos os materiais plásticos que tem sua estrutura mecânica degradada após receber radiação ultravioleta – UV e rejeitos que não podem ser reutilizados que deverão ter destinação adequada.

Uma lâmpada fluorescente nova custa em média R\$4,50 e são vendidas 30.000 unidades por mês, o que resulta em uma receita de R\$135.000,00 por mês. Os subprodutos gerados no processo de reciclagem, tais como vidro, alumínio, pinos de latão e mercúrio, possuem valor agregado: R\$1,10/kg para o vidro; R\$3,00/kg para o alumínio; R\$1,00/kg para o latão e R\$2,00/g para o mercúrio. O pó de fósforo também apresenta valor de mercado, já que pode ser utilizado em fábricas de tinta e de cimento, sendo vendido a R\$0,50/kg.

O único constituinte das lâmpadas fluorescentes que não pode ser reciclado é o isolamento baquelítico – material das extremidades das lâmpadas – que deverá ser destinado a aterro inerte.

A Figura 26 mostra o sistema de entrada, saída e rejeitos.

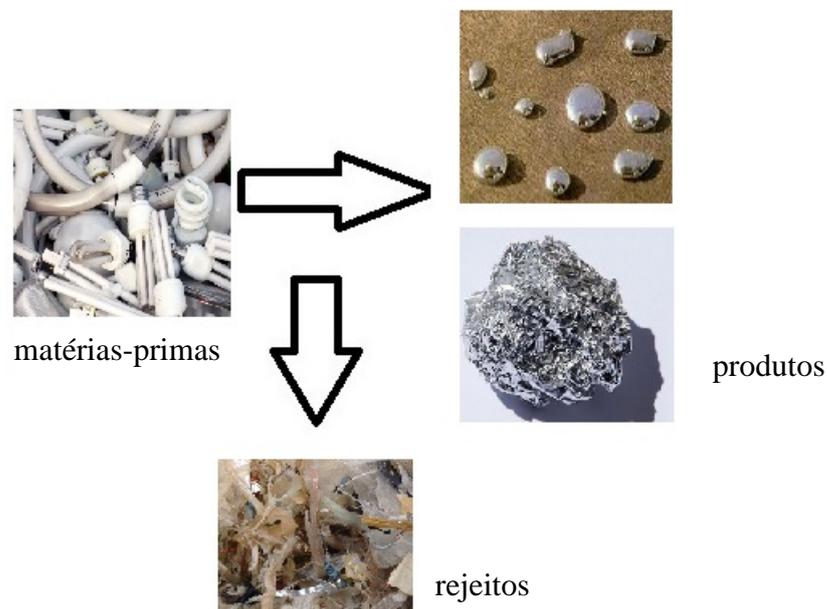


Figura 26: Insumo, subprodutos e rejeitos na indústria de reciclagem de lâmpadas fluorescentes.

4.1.8 Indústria de Reciclagem de Óleos Lubrificantes

A indústria de reciclagem de óleos tem como matéria-prima os lubrificantes usados ou contaminados, e tem como produto óleos lubrificantes automotivos e industriais. Como resíduos gera borra ácida, torta de argila, e óleo e efluentes industriais que devem ter destinação adequada.

A Figura 27 mostra o esquema de entrada, saída e rejeitos.

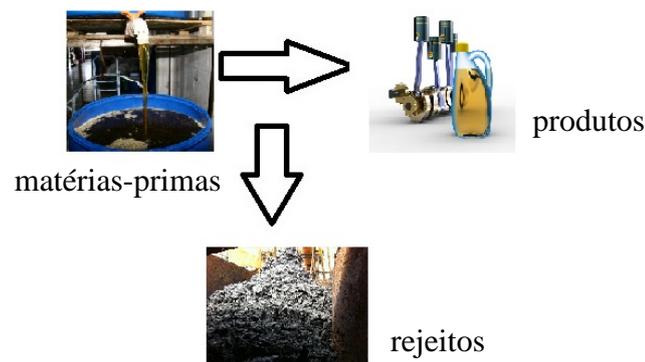


Figura 27: Entrada, saída e rejeitos na indústria de reciclagem de óleos lubrificantes.

4.2 CIDADE DE MÉDIO PORTE

A cidade considerada (Figura 28) no entorno do parque industrial é de médio porte, ou seja, possui de 100 a 300 mil habitantes, justificando-se pelo consumo de produtos advindos das indústrias e pela geração de quantidades suficientes de resíduos para reutilização e reciclagem nos processos industriais.



Figura 28: Cidade de médio porte.

4.3 ÁREA DE REFLORESTAMENTO

A área de reflorestamento considerada (Figura 29) será de importância na utilização do fertilizante produzido pela indústria de reciclagem coureiro-calçadista e no fornecimento de madeiras maciças produzidas no local (espécie: Pinus) para a indústria moveleira. Isto devido as características de homogeneidade e de volume requeridos na produção de móveis, fechando assim o ciclo de insumo, produto e resíduo inserido no parque industrial virtual.

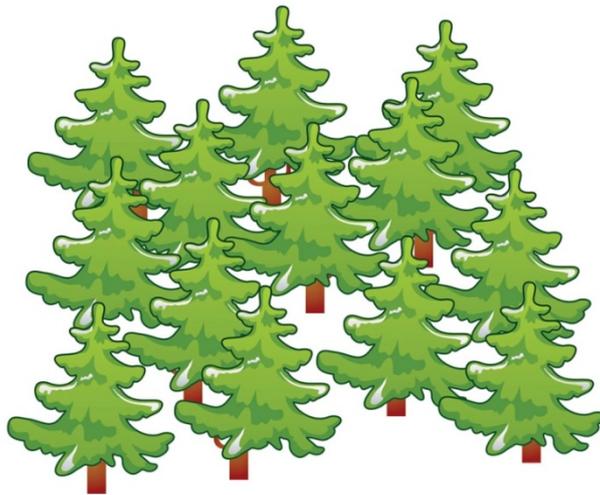


Figura 29: Área de reflorestamento.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como forma de se avaliar a economia que as empresas tem em vender, doar ou reutilizar seus resíduos, utilizou-se preços reais de mercado de resíduos que são vendidos ou doados.

Estes valores são obtidos a partir de Bolsas de Resíduos, que são ambientes virtuais gratuitos compostos de um banco de dados com informações sobre oferta e demandas de resíduos, com a intenção de promover a livre negociação entre as indústrias, conciliando ganhos econômicos com ganhos ambientais.

As Tabelas 6 e 7 mostram os valores para alguns tipos de resíduos, em acesso em 8 de maio de 2014.

OFERTA	
Resíduo	Preço
EVA	Doação
Madeira	U\$ 100/t
Lodo galvânico com metais	Doação
Granalha de aço	Doação
Resíduos e fragmentos de borra de plástico	Doação
Pet branca/Pet colorida Shefa	Doação
Resíduo de potes de embalagens em polipropileno	U\$ 0,30/kg
Paraformaldeído	Doação
Resina fenólica	Doação
Tinner	Doação
Solventes contendo resíduos de tinta	U\$ 0,90/L
Pó de tinta	Doação
Sucata de vidro	U\$ 0,12/kg
Sucata de alumínio	U\$ 3,45/kg
Areia fundição/Escória de fundição/Pó de Shake Out	Doação
Papel liner/manteiga/siliconado	Doação
Lâmpada fluorescente 1,20m, 2,40m	Doação

Tabela 6: Preços de venda de resíduos reutilizáveis.

Fonte: <http://apps.fiesp.com.br/bolsaresiduos>

PROCURA	
Resíduo	Preço
Telhas e placas ecológicas	U\$ 26,00/kg
Borra de brunimento	Doação
Pet óleo enfardado	U\$ 0,90/kg
Thinner, solventes	U\$ 0,50/L
Papel liner/manteiga/siliconado	Doação

Tabela 7: Preços de compra de resíduos reutilizáveis.

Fonte: <http://apps.fiesp.com.br/bolsaresiduos/>

De acordo com os preços dos resíduos das tabelas acima e os dados de produção mostrados no item anterior, podem ser feitos os cálculos necessários para comparação de produção e geração de resíduos nas indústrias.

Com relação à indústria moveleira, comparando o lucro obtido pela compra de material de enchimento tradicional com o relativo à aquisição de retalhos de tecidos, tem-se um aumento de 160%. Isto com relação ao lucro específico na aquisição e venda dos retalhos incorporados aos estofados.

A indústria têxtil que compra PET como insumo em substituição ao algodão gera uma economia de 15% para uma mesma produção de peças de vestuário. E, ao vender seus resíduos, gera um lucro de 0,09% na receita.

O link abaixo dá acesso a uma primeira versão de animação representativa do parque industrial:

http://volkrons.com.br/tempo/grg/tcc/bolsaresiduos_v1.html

6 CONCLUSÕES

Os produtos gerados nas empresas de reciclagem não apresentam qualidade inferior comparados aos manufaturados por indústrias tradicionais, pois as técnicas utilizadas naquelas são as mesmas destas. O que diferencia é unicamente a matéria-prima reprocessada.

Com base nos dados apresentados em cada indústria pode-se concluir que o reaproveitamento e reciclagem de resíduos levam a uma significativa redução de custos nas empresas envolvidas. Mesmo quando uma indústria doa resíduos ela tem um ganho, pois ao fazê-lo deixará de pagar pela disposição dos mesmos.

Salienta-se que a separação dos resíduos na sua origem é fundamental para que estes mantenham seu valor de mercado no caso de venda e possam ser reprocessados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O parque industrial objeto de estudo absorve parcialmente aos resíduos gerados, propiciando economia na aquisição de matérias-primas e minimizando gastos no que se refere à disposição em aterro industrial.

O valor agregado a cada resíduo depende da sua demanda no mercado. Portanto, uma empresa que teria que pagar para dispor seus resíduos pode gerar lucro na venda dos mesmos, tendo assim competitividade no mercado.

As bolsas de resíduos tem relevância na questão da venda e doação de produtos, sendo possível para as fábricas a partir de websites ou outra forma de comunicação virtual fazer negociações de matérias-primas específicas, facilitando assim as relações comerciais dos empreendedores.

Este trabalho apresenta animações no website mencionado anteriormente para indústria têxtil, coureiro-calçadista, de reciclagem de PET e de lâmpadas fluorescentes. Recomenda-se para trabalhos futuros a elaboração de OAV da dinâmica dos fluxos de entrada, saída e resíduos das demais indústrias consideradas - moveleira, de fertilizantes, usina de tratamento térmico de RSU e indústria de óleos lubrificantes - para serem utilizados como ferramenta de ensino.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. P., CURIA, A. C., SANTOS, M. K., NEETZOW, R. F. **Implementação de Programas de Produção mais Limpa**. Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Porto Alegre, 2003. Disponível em: <http://srvprod.sistemafiergs.org.br/portal/page/portal/sfiergs_senai_uos/senairs_uo697/proximos_cursos/implementa%E7%E3o%20PmaisL.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2014.

BRASIL, **Lei 12.305, de 2 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências**. Lex: coletânea de legislação e jurisprudência: legislação federal e marginalia, São Paulo, v. 74, p. 950-971, ago. 2010. Disponível em: <http://www.sinduscon-rs.com.br/wp-content/uploads/2010/08/LEI-12.305_2010.htm>. Acesso em: 8 mai. 2014.

BURINI JR, E. C., MANZANO, E. R., SANTOS, E. R., RAITELLI, M. R., ASSAF, L. O., ANDRADE, A. M. D. **Destino e Gestão aos Resíduos de Lâmpadas Elétricas a Descarga**. VII Congreso de Medio Ambiente de la AUGM, 2012. Disponível em: <<http://congresos.unlp.edu.ar/index.php/CCMA/7CCMA/paper/viewFile/887/202>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

CASSILHA, A. C., PODLASEK, C. L., CASAGRANDE JR, E. F., SILVA, M. C. D., MENGATTO, S. N. F. **Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental**. Revista Educação & Tecnologia, n. 8, 2011. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/revedutec-ct/article/viewFile/1142/739>>. Acesso: 10 mar. 2014.

CULTRI, C. N., MANFRINATO, J. W. S., RENÓFIO, A. **Resíduos sólidos do setor coureiro-calçadista e os fundamentos para a Produção Mais Limpa**. XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_13/artigos/1060.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2014.

COELHO, T. C., SERRA, J. C. V., LUSTOSA, J. B. **Alternativa de Tratamento de Resíduos Sólidos e Geração de Energia através de Fornos de Queima: Uma Análise**. Revista de Ciências Ambientais, v. 7, n. 1, p. p. 79-89, 2013. Disponível em: <www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/download/853/883>. Acesso em: 31 mai. 2014.

FORTINO, P. C. **Visitas Técnicas**. Trabalho da Disciplina HIP-26. UFRGS, 2009.

GONÇALVES, C. K. **Pirólise e combustão de resíduos plásticos**. Dissertação. Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/tde-09012008-122306/en.php>>. Acesso em: 8 mai. 2014.

GRASSI, A. S., SILVA, F. P., MEURER, H., CABRAL JR, P. A. F., BOUCINHA, R. M., SCHNAID, F. **Desenvolvimento de protótipo de objeto de aprendizagem virtual para uso em engenharia**. Hipertextus Revista Digital, 2013. Disponível em: <http://www.hipertextus.net/volume10/10-Hipertextus-Vol10-Flavia-Pereira_Andre-Grassi_Heli-Meurer_Paulo-Freitas_Rafael-Marimon&Fernando-Schnaid.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2014.

IPCC/ONU. **Sumário para formuladores de políticas**. Quarto Relatório de Avaliação do GT1 do IPCC. 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

JAVNARAMA. **Manual de Reciclagem: Coisas simples que você pode fazer**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora José Olympio, 2003.

JÚNIOR, W. A. D., WINDMÖLLER, C. C. **A questão do mercúrio em lâmpadas fluorescentes**. Revista Química Nova na Escola, n. 28, 2008. Disponível em: <<http://www.qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/04-QS-4006.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2014

LEMOS, P. F. I. **Resíduos sólidos e responsabilidade civil pós-consumo**. 3. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 2014.

MEDEIROS, A. S. L. **Trabalho da Disciplina HIP-26**. UFRGS, 2009.

PAVAN, M. D. C. O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. Dissertação. Universidade de São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10102011-120843/en.php>>. Acesso em: 27 mai. 2014.

PIZYBLSKI, E. M. (UTFPR), XAVIER, A. A. (UTFPR), KOVALESKI, J. L. (UTFPR), GORSKI, G. M. (UTFPR), TORRES, F. (UTFPR). **Resíduos gerados por uma indústria de confecção têxtil de Ponta Grossa – PR**. III Congresso Brasileiro de

Engenharia de Produção – Ponta Grossa, PR, Brasil, 04 a 06 de dezembro de 2013. Disponível em: <<http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2013/down.php?id=168&q=1>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

RAMIRES, S. **Casos de empresas que empregam técnicas e processos para o aproveitamento de resíduos.** Trabalho da Disciplina HIP-26. UFRGS, 2009.

RIO GRANDE DO SUL. **Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente - CONSEMA, Nº 073 de 20 de agosto de 2004. Dispõe sobre a co-disposição de resíduos sólidos industriais em aterros de resíduos sólidos urbanos no Estado do Rio Grande do Sul.** 2004.

SCHIFINO, G., WEILER, J. **Reutilização do resíduo de couro para produção de adubo.** Trabalho da Disciplina IPH-26. UFRGS, 2013.

SILVA, C. R. **Estudos de casos.** Trabalho da Disciplina HIP-26. UFRGS, 2008.

TOMAZINI, D. **Reutilização de resíduos.** Trabalho da Disciplina HIP-26. UFRGS, 2009.

TÔRRES FILHO, A. **Viabilidade técnica e ambiental da utilização de resíduos de madeira para produção de um combustível alternativo.** Dissertação. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/125M.PDF>>. Acesso em: 1 jun. 2014.

ZENID, G. J. **Espécies nativas com potencial madeireiro e moveleiro.** Divisão de Produtos Florestais. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Esp%E9cies%20nativas%20com%20potencial%20madeireiro%20e%20moveleiro.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2014.

<<http://www.b2blue.com>>. Acesso em: 1 jun. 2014.

<<http://www.energia.sp.gov.br/portal.php/residuos-solidos>>. Acesso em: 11 jun. 2014.

<<http://apps.fiesp.com.br/bolsaresiduos>>. Acesso em: 8 mai. 2014.

<<http://www.mfrural.com.br>>. Acesso em: 17 jun. 2014.

<<http://reciclabrasil.net/bolsareciclados.html>>. Acesso: 1 jun 2014.