



**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS  
UNIDADE ACADEMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**LUÍSA SIMON**

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DO PROCESSO DE LIMPEZA  
PARA A RECICLAGEM DO CAVACO METÁLICO CONTAMINADO  
COM FLUIDO DE CORTE**

São Leopoldo  
2016



Luísa Simon

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DO PROCESSO DE LIMPEZA PARA  
A RECICLAGEM DO CAVACO METÁLICO CONTAMINADO  
COM FLUIDO DE CORTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil da  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -  
UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes  
Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Regina Célia Espinosa Modolo

Banca Examinadora: Prof. Dr. Luis Felipe Machado do Nascimento Externo  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Feliciane Andrade Brehm Unisinos  
Prof.<sup>a</sup> Dra. Miriam Borchardt Unisinos

São Leopoldo  
2016

S594a Simon, Luísa.  
Avaliação ambiental e econômica do processo de limpeza para a reciclagem do cavaco metálico contaminado com fluído de corte / Luísa Simon. – 2016.  
158 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.  
“Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes ; coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Regina Célia Espinosa Modolo.”

1. Cavacos metálicos contaminados. 2. Impacto ambiental. 3. Ecoefetividade. 4. Avaliação econômica . I. Título.

CDU 624

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

A dissertação de mestrado

**“AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÔMICA DO PROCESSO DE LIMPEZA PARA A RECICLAGEM DO  
CAVACO METÁLICO CONTAMINADO COM FLUIDO DE CORTE”**

apresentada por **Luisa Simon**

foi julgada e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL** pela seguinte banca examinadora:



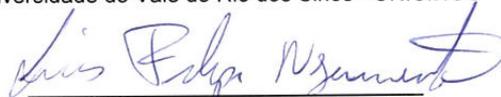
Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Regina Celia Espinosa Modolo  
Coorientadora  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Feliciane Andrade Brehm  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS



Prof. Dr. Luis Felipe Machado do Nascimento  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Miriam Borchardt  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

São Leopoldo, 30 de agosto de 2016.



Dedico esta pesquisa a todos os profissionais que, assim como eu, acreditam que os processos produtivos possam ser ecoeficientes e inteligentes.



## AGRADECIMENTOS

Ao querido prof. Carlos por todos os anos de orientação, dedicação, paciência e parceria, principalmente no período do mestrado. À querida Regina capixaba-portuguesa, pois além de uma excelente coorientadora, ganhei também uma amiga.

A toda equipe do grupo de pesquisa NuCMat, em especial à Cynthia, Daiane, Iara e Elenize pelo convívio quase diário, congressos e cafés, e aos bolsistas Cauê e Karine.

As minhas queridas colegas de mestrado pelas trocas de experiências, medos, amizade, alegrias e seis temperos. Ao colega Flávio, que além de ótimo assador é ótimo no *Google Earth*.

A toda minha família, mas em especial ao meu pai pelo apoio, pela ajuda com a usinagem e sempre deixar os churrascos da turma do mestrado ser lá em casa. À minha mãe por todo o amor, pelos chimarrões, comidinhas gostosas e caronas até a Unisinos. Ao Mariano pela desenvoltura no ArgGIS e por me fazer ótima gestora do tempo.

Aos meus queridos amigos que souberam entender minha grosseria e falta de paciência neste primeiro semestre de 2016, período de tantas mudanças e tentativa de autoconhecimento. Obrigada também por me distraírem, por serem sempre tão legais e me convencerem (ou eu convencer vocês) a fazer festa quando eu deveria ficar trabalhando. Muito obrigada!!

A Thelma pela parceria e amizade desde o primeiro semestre de iniciação científica, desde quando eu nem sabia ainda o que era P+L até nossos sonhos em busca de um mundo mais sustentável.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos, sem você eu não teria feito mestrado.

A todos vocês e às outras pessoas que aqui não foram citadas mas moram no meu coração e sabem disso. Valeu!!!



## **FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA**

A realização deste trabalho foi possível com o apoio das seguintes fontes financiadoras:





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	26
1.2	OBJETIVOS .....	27
1.2.1	Objetivo Geral .....	27
1.2.2	Objetivos Específicos.....	27
1.3	ESTRUTURA DA PESQUISA.....	28
1.4	DELIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO TRABALHO.....	28
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>29</b>
2.1	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	29
2.2	ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS .....	30
2.2.1	Identificação e Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais .....	31
2.3	GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS METÁLICOS .....	35
2.4	ECOEFIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE .....	37
2.5	PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	40
2.6	COPRODUTO.....	43
2.7	AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	44
2.8	SETOR METALMECÂNICO .....	46
2.8.1	Usinagem .....	47
2.8.2	Fusão de Sucata .....	48
2.8.3	Métodos de Reciclagem.....	49
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>55</b>
3.1	LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	56
3.2	PROCESSOS DE SEGREGAÇÃO DOS CAVACOS METÁLICOS .....	58
3.3	MAPEAMENTO DAS ROTAS DE RECICLAGEM .....	59
3.4	AVALIAÇÃO AMBIENTAL.....	59
3.4.1	Avaliação Qualitativa dos Aspectos e Impactos Ambientais.....	59
3.4.2	Avaliação Quantitativa do Aspecto Ambiental Geração de Emissões Atmosféricas no Transporte .....	61
3.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	62
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
4.1	LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	65
4.1.1	Resultados dos Questionários Respondidos das Empresas com Usinagem ..	68
4.2	PROCESSOS DE SEGREGAÇÃO DOS CAVACOS METÁLICOS .....	76
4.3	MAPEAMENTO DAS ROTAS DE RECICLAGEM .....	83
4.4	AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS .....	85
4.4.1	Avaliação Qualitativa dos Aspectos e Impactos Ambientais.....	88
4.4.2	Avaliação Quantitativa do Aspecto Ambiental Geração de Emissões Atmosféricas no Transporte .....	101
4.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	105
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>111</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>113</b>
	<b>APÊNDICE A – OFÍCIO.....</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO.....</b>	<b>125</b>

<b>APÊNDICE C – CÁLCULO DO CARBONO EQUIVALENTE PARA AS 16 ROTAS – VALORES REAIS .....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE D – ARTIGO PUBLICADO NO 5<sup>TH</sup> WORKSHOP   ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION.....</b>	<b>133</b>
<b>APÊNDICE E – ARTIGO EM REVISÃO – JOURNAL OF CLEANER PRIDUCTION .....</b>	<b>143</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Geração de resíduos no setor metalmeccânico.....	25
Tabela 2 – Estrutura do trabalho.....	28
Tabela 3 – Impactos ambientais .....	33
Tabela 4 – Abrangência.....	34
Tabela 5 – Severidade.....	34
Tabela 6 – Frequência.....	34
Tabela 7 – Resultado dos critérios de avaliação.....	35
Tabela 8 – Classificação dos resíduos sólidos.....	35
Tabela 9 – Elementos da ecoeficiência.....	38
Tabela 10 – Características da ecoeficiência e da ecoefetividade .....	39
Tabela 11– Ganhos econômicos com a P+L .....	43
Tabela 12 – Autores estudados e processos propostos.....	52
Tabela 13 – Classificação das indústrias segundo seu porte .....	57
Tabela 14 – Exemplos de questionamento para a <i>survey</i> exploratória.....	58
Tabela 15 – Resultados da Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais .....	60
Tabela 16 – Identificação dos elementos de ecoeficiência e ecoefetividade.....	61
Tabela 17 – Frota de caminhões considerada - categoria.....	62
Tabela 18 – Resultado do primeiro levantamento de dados no site da FEPAM e na internet .	65
Tabela 19 – Resultado dos contatos telefônicos com as empresas identificadas .....	66
Tabela 20 – Resultado do número total de empresas válidas para a pesquisa.....	67
Tabela 21 – Número de empresas levantadas por município .....	69
Tabela 22 – Resultados dos dados gerais obtidos a partir da primeira etapa do questionário..	70
Tabela 23 - Resultados dos dados de gestão e produção .....	72
Tabela 24 - Resultados dos dados do processo de usinagem .....	74
Tabela 25 – Histórico das empresas .....	76
Tabela 26 – Lista dos tipos de metais usinados para cada empresa e respectivo tipo de separação .....	77
Tabela 27 – Rotas da reciclagem das empresas visitadas.....	83
Tabela 28 – Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa A.....	89
Tabela 29 – Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa B .....	90
Tabela 30 – Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa C .....	91
Tabela 31 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa D.....	92
Tabela 32 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa E.....	93
Tabela 33 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa F .....	94
Tabela 34 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa G.....	95
Tabela 35 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa H.....	96
Tabela 36 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos do processo de limpeza proposto por Dutra et al. (2007).....	97
Tabela 37 – Contextualização das oito empresas mais Dutra et al. (2007) para identificação dos elementos de ecoeficiência e ecoefetividade .....	99
Tabela 38 – Valores considerados no cálculo de payback e VPL em relação ao lucro de venda dos cavacos .....	105
Tabela 39 – Valores gastos com descarte hipotético para os grupos 1, 2, 3 e 4.....	107
Tabela 40 – Valores para embasar o cálculo de payback e VPL dos 4 grupos estudados .....	107
Tabela 41 – Cálculo de Payback para os grupos 1, 2, 3 e 4 .....	107
Tabela 42 – Resultado do cálculo do VPL dos 4 grupos.....	108



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das questões ambientais.....	23
Figura 2 - Distribuição das ofertas dos tipos de sucata .....	37
Figura 3 – Custos e benefícios econômicos da P+L.....	41
Figura 4 – Fluxograma da geração de opções de P+L.....	42
Figura 5 - Metodologia de pesquisa .....	55
Figura 6– Região Metropolitana de Porto Alegre .....	57
Figura 7 - Resultado do envio do e-mail às empresas .....	67
Figura 8 – Porcentagem de empresas que possuem LO, PGRS, SGA e ISO 14001 .....	70
Figura 9 - Tipos de materiais que são usinados e quantidade de empresas que usinam .... <b>Erro!</b> <b>Indicador não definido.</b>	
Figura 10 – Cavacos metálicos da Empresa G misturados para posterior descarte .....	78
Figura 11 - Segregação por plano inclinado do grupo 1(Empresa A, Empresa C, Empresa E e Empresa H) .....	79
Figura 12 – Plano inclinado em detalhe do grupo 1 .....	79
Figura 13 - Segregação por plano inclinado do grupo 2 (Empresa D e Empresa F) .....	80
Figura 14 – Malha metálica coletora em detalhe do grupo 2 .....	80
Figura 15 – Container coletor de óleo residual da Empresa D.....	80
Figura 16 - Segregação por plano inclinado do grupo 3 (Empresa B) .....	81
Figura 17 – Mangueiras que possibilitam o ciclo fechado do fluido de corte.....	81
Figura 18 – Processo de limpeza do grupo 4 proposto por Dutra et al. (2007).....	82
Figura 19 – Rotas de reciclagem dos cavacos metálicos das empresas visitadas.....	84
Figura 20 – Diagrama de blocos com entradas e saídas de todas as empresas visitadas.....	87
Figura 21 – Quantidade de carbono equivalente emitido em cada rota.....	105
Figura 22 – Comparativo entre as emissões de CO <sub>2</sub> eq entre os dados uniformizados de transporte e os dados reais informados pelas empresas.....	131



## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AIA – Avaliação de Impactos Ambientais  
BIR – Bureau of International Recycling  
BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento  
CNC – Comando Numérico Computadorizado  
CNI – Confederação Nacional das Indústrias  
CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas  
CO – Monóxido de Carbono  
CODRAM – Código de Ramo de Atividade  
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono  
CO<sub>2eq</sub> – Dióxido de Carbono equivalente da substância  
CP – Custo de Produção  
CR – Custo de Reciclagem  
D – Distância  
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental  
F – Fator de emissão da substância  
Fc – Fluxo de caixa  
*i* – taxa de juros  
I<sub>o</sub> – Investimento inicial  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ISO – International Organization for Standardization  
LO – Licença Ambiental de Operação  
m - Massa  
MME – Ministério de Minas e Energia  
MPESus – Matriz de Posicionamento Estratégico de Sustentabilidade  
MQL – Mínima Quantidade de Lubrificante  
*n* – Índice por período  
NDM – Neer Dry Machining  
NEPA – National Environmental Policy Act  
NISP – National Industrial Symbiosis Programme  
NO<sub>x</sub>- Óxidos de Nitrogênio  
NUCMAT – Núcleo de Caracterização de Materiais  
P+L – Produção mais Limpa  
PBT - Peso Bruto Total  
PERS – Plano Estadual de Resíduos Sólidos  
PGRS – Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos  
PROMETHEE - Preference Organization Method for Enrichment of Evaluations  
PSA – Prestador de Serviço Ambiental  
PU - Poliuretano  
PV – Preço de Venda  
REA – Retorno Econômico Ampliado  
RMPA – Região Metropolitana de Porto Alegre  
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas  
SGA – Sistema de Gestão Ambiental  
T - Tempo

TIR - Taxa Interna de Retorno

UNISINOS – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

$V_0$  – Investimento inicial

VPL – Valor Presente Líquido

WBCSD - World Business Council for Sustainable Development

## RESUMO

SIMON, L. **Avaliação Ambiental e Econômica do Processo de Limpeza para a Reciclagem do Cavaco Metálico Contaminado com Fluido de Corte**. São Leopoldo, 2015. 161 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2015.

O crescimento populacional e sua dependência de bens materiais têm aumentado a demanda pelo desenvolvimento de novas tecnologias que não utilizam em sua maioria recursos naturais não renováveis. Os processos produtivos geram resíduos e esses podem ser dispostos em aterros apropriados, visando o fluxo linear de produção. Porém, a busca por processos sustentáveis e a redução de custos para disposição de resíduos tem levado os empresários a adotar tecnologias limpas favorecendo a reutilização e reciclagem destes resíduos. Outro enfoque é o seu uso como fonte alternativa para aumentar a ecoeficiência e como um objeto maior, a ecoefetividade, ou seja, reduzir os impactos, aumentando a eficiência econômica e ambiental e desta forma contribuir para a sustentabilidade. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar ambiental e economicamente processos de limpeza e reciclagem dos cavacos metálicos contaminados com fluido de corte. Para isso, foram identificadas empresas geradoras deste tipo de resíduo da Região Metropolitana de Porto Alegre licenciadas pela FEPAM e por órgãos ambientais municipal através de questionário. A seguir iniciou-se uma pesquisa exploratória entre as empresas identificadas, das quais realizou-se visita de estudo em oito empresas. A partir das empresas visitadas, foram identificadas e mapeadas 16 rotas cujo percurso se dá entre empresa geradora de cavaco e Prestadores de Serviço Ambiental. Com base nos resultados obtidos foram levantados os aspectos e impactos ambientais dos processos de usinagem, separação, armazenamento e transporte dos cavacos metálicos através de uma planilha de avaliação de aspectos e impactos ambientais. Os resultados obtidos permitiram identificar que os impactos adversos mais significativos são oriundos do consumo de insumos e matéria-prima e do transporte do resíduo até o PSA. A partir da quantificação de emissões de CO<sub>2</sub> eq. do transporte pode-se observar que é possível reduzir 48% das emissões em um ano apenas mudando a rota e o PSA que recolhe o material. Em relação a avaliação econômica, realizada pelos cálculos de Valor Presente Líquido e Payback, foi possível concluir que o investimento para limpeza dos cavacos se torna viável para empresas que grande geração deste resíduo. Em caso de pouca geração seria mais viável vendê-los para um PSA que faria a limpeza juntamente com os cavacos coletados de outras empresas, aumentando o montante a ser limpo.

**Palavras-chave:** Cavacos metálicos contaminados. Impacto ambiental. Ecoefetividade. Avaliação econômica.



## ABSTRACT

SIMON, L. **Environmental Assessment and Economic Cleaning Process to the Recycling Cavaco Metal Contaminated with Cutting**. São Leopoldo, 2016. 161 sheets. Dissertation (Master Degree in Civil Engineering) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

Population growth and its dependence on material goods have increased the demand for the development of new technologies that do not use mostly non-renewable natural resources. The production processes generate waste and these must be arranged in appropriate landfills, targeting the linear production flow. However, the search for sustainable processes and reducing waste disposal costs has been taken the entrepreneurs to adopt clean technologies favoring the reuse and recycling of waste. Another approach is its use as an alternative source to increase eco-efficiency and as a larger object, the eco-effectiveness, or reduce the impacts, increasing economic and environmental efficiency and thus contribute to the sustainability. This research aimed to evaluate environmental and economic cleaning processes and recycling of metal chips contaminated with cutting fluid. For this generation firms were identified this type of waste in the metropolitan region of Porto Alegre licensed by FEPAM and municipal environmental agencies through a questionnaire. Then began an exploratory survey of the identified firms, which held study tour in eight firms. From the firms visited were identified and mapped 16 routes whose route is between generator of chip and Environmental Service Providers. Based on the results obtained were raised environmental aspects and impacts of machining processes, separation, storage and transportation of metallic chips through a spreadsheet evaluation of environmental aspects and impacts. The results have identified that the most significant adverse impacts come from the consumption of inputs and raw materials and the waste transport to the ESP. From the measurement of CO<sub>2</sub> equivalent emissions. Transport can be seen that it is possible to reduce 48% of the emissions in one year only changing the route and collecting the ESP material. Regarding the economic assessment carried out by calculation of Net Present Value and Payback, it was concluded that the investment for chip cleaning becomes feasible for firms with large generation of this waste. In case of little generation would be more feasible to sell them for an ESP that would make cleaning along with the chips collected from other companies, increasing the amount to be clean.

**Key-words:** Contaminated Metallic chips. Environmental impact. Eco-effectiveness. Economic evaluation.



# 1 INTRODUÇÃO

O bem-estar de um número crescente de pessoas depende de bens materiais produzidos em sua maioria, com recursos naturais, renováveis ou não. O desenvolvimento de muitas tecnologias que tornam nossa existência confortável se associa com a acessibilidade de materiais adequados (CALLISTER; RETHWISCH, 2013), onde a transformação e produção destes materiais em bens acabados tornam-se uma importante atividade da economia mundial. Esta atividade produz efeitos negativos ao meio ambiente tendo em vista que o modelo vigente de produção visa o ciclo linear de insumos, descartando seus resíduos sólidos em aterros ao invés de tentar reaproveitar e reciclar como matéria-prima em outro processo.

Em 2003, o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) apresentou a tendência do gerenciamento ambiental a partir da década de 50. Como pode ser observado na Figura 1, nas décadas de 50 e 60 tinha-se a ideia da disposição sem comprometimento das empresas com o impacto ambiental causado por elas. Então, a partir do final da década de 60 as questões ambientais começaram a ser motivo de preocupação nas empresas (KHALILI et al., 2014). Já nas décadas de 70 e 80 houve a evolução das responsabilidades ambientais, visando controle de final de tubo e cumprimento de normativas. Desde a década de 90 até a data da publicação do documento, a ideia evoluiu para se prevenir a poluição com atitudes proativas, indo além do cumprimento das normativas e adotando tecnologias limpas (CNTL, 2003).



**Figura 1 - Evolução das questões ambientais**

Fonte: CNTL (2003).

Em 1973 o livro *Small is Beautiful* apresentou ideias da economia, então atual, diante da globalização e crise de energia. Acadêmicos e demais interessados em sustentabilidade e em mudança de paradigmas desenvolveram teorias precursoras e, já falavam sobre tecnologias apropriadas para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a economia já era considerada insustentável (SCHUMACHER, 1973). No ano de 1999, apresentou-se o crescimento econômico sustentável por meio de mudanças no processo produtivo, a fim de buscar a

excelência ambiental. Tais mudanças podem ser vistas como a diferenciação entre tecnologias de fim de tudo e tecnologias limpas (KIPERSTOK, 1999). As publicações de Schumacher e Kiperstok vêm ao encontro da evolução proposta na Figura 1, uma vez que a partir da década de 70 surgiram as ideias de responsabilidade ambiental, tratamento dos resíduos e as mudanças para tecnologias limpas.

Conforme Callister; Rethwisch (2013), os materiais sólidos são divididos em três categorias básicas: metais, cerâmicos e polímeros, onde o setor metalmeccânico representa a categoria metais. A utilização do aço se diversifica na sociedade moderna, tornando-se parte principal em grandes projetos em vez de ser utilizado apenas como matéria-prima (MORAES; SIMON; VARGAS, 2015).

No Brasil, os resíduos sólidos são um dos principais problemas ambientais. Dentre os diferentes tipos de resíduos, os de origem industrial apresentam grande potencial de risco para o meio ambiente. De acordo com os dados da Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler (FEPAM, 2002), na sua última versão do inventário sobre resíduos sólidos industriais, entre as empresas inventariadas, 24,3% eram do ramo mecânico, gerando um total de 108.343 t/ano (9,6% do total de resíduos gerados pelas empresas de todos os setores) de resíduo industrial. Deste total de resíduos do setor metalúrgico, foram geradas 17,4 mil toneladas de resíduo classe I-perigoso, classificados de acordo com a norma ABNT, 2004.

O Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) (RIO GRANDE DO SUL, 2014), publicado em dezembro de 2014, informa que o ramo industrial da indústria mecânica, que engloba as sucatas metálicas contaminadas com óleos e graxas lubrificantes, gera 939.700 t/ano, dentre estas, 161.215 t/ano são considerados classe I-perigoso de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004). Como pode ser observado na Tabela 1, em um intervalo de aproximadamente 10 anos a geração de resíduo classe I-perigoso no setor metalmeccânico aumentou cerca de 9 vezes e a geração total de resíduos deste setor aumentou 8 vezes. Diante dos dados apresentados, é possível perceber que o setor metalmeccânico apresenta expressiva importância no cenário econômico brasileiro, com vasta cadeia produtiva de segmentos ligados à metalurgia, usinagem e produção de manufaturados metálicos, sendo base para outras atividades relevantes, como indústria automobilística, construção civil e bens de capital (BRASIL, 2014).

Tabela 1 – Geração de resíduos no setor metalmeccânico

Setor metalmeccânico	FEPAM (2002)	PERS (2014)	Taxa de crescimento
Total de resíduos (mecânico)	108.343 t/ano	939.700 t/ano	8 vezes
Resíduos classe I-perigoso (mecânico)	17.388 t/ano	161.215 t/ano	9 vezes

Este aumento da geração de resíduos pode ser comparado com a soma do consumo per capita de aço, aço inox, ferroligas e alumínio de 116,5 kg/hab no ano de 2000 e de 155.40 kg/hab para o ano de 2013, resultando em um aumento de 1,3 vezes em um período aproximado de 13 anos (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO SETOR METALURGICO, 2014). Considerando a legislação que vigora, é possível que parte dos resíduos anteriormente alocados como inertes ou demais classificações possam hoje ser classificados como Classe I-perigoso. Logo, pode ser que as quantidades de resíduos hoje registrados já poderiam existir no passado, mas hoje devido a legislação mais exigente que obriga as empresas a quantificar e dar a destinação correta, este valor demonstra-se mais elevado. Ou seja, talvez a quantidade gerada não tenha aumentado, e sim a quantidade efetivamente registrada (BRASIL, 2010).

A lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), tem por finalidade promover a destinação correta de todo tipo de resíduo sólido, por meio da responsabilidade compartilhada dos diferentes agentes envolvidos na cadeia produtiva. Esta cadeia abrange fabricantes, comerciantes, distribuidores, consumidores e responsáveis pelos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos. E, visando a integração desta cadeia, a lei institui o sistema de logística reversa como instrumento de desenvolvimento econômico, visando viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para o reaproveitamento e a reciclagem (BRASIL, 2010).

Como exemplo da integração entre fabricantes, comerciantes, distribuidores, consumidores e responsáveis pelos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, o *Nacional Industrial Symbiosis Programme* (NISP) tem como missão facilitar ligações entre as indústrias de diferentes setores para criar oportunidades comerciais e sustentáveis para melhorar a eficiência dos recursos. Segundo a entidade, a implantação desta integração, também chamada de Simbiose Industrial, aumenta empregos, vendas, aprendizado, balanços comerciais, inovação, novos negócios, investimento interno, transferência de conhecimento e uso de aditivos e reduz o uso de recursos naturais, uso de água potável, resíduos perigosos, emissões de CO<sub>2</sub>, transporte, poluição, aterros, gastos e riscos (NISP, 2015).

A Simbiose Industrial é uma ferramenta que visa a relação de diferentes indústrias e organizações localizadas próximas umas das outras. O ciclo fechado de materiais, através da utilização de resíduos de uma instalação como matéria-prima em outra é o maior foco desta ferramenta (TREVISAN, 2013), identificando oportunidades para otimizar o uso de recursos naturais, energia, água e capacidade produtiva (LOMBARDI et al., 2012). Esta troca de recursos naturais, para Santos et al. (2014) pode ser realizada através de um prestador de serviço ambiental (PSA) com intuito de formar uma cadeia de prestação de serviços ambientais por empresas licenciadas para prestar serviços em um determinado setor. Os PSAs podem estar vinculados às empresas geradores de resíduos industriais de forma direta, como profissionais do quadro de funcionários, ou serem terceirizados para executar todas ou parte das várias ações que compõem a gestão de ambiental de uma empresa.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Kiperstock et al. (2003), o desafio do desenvolvimento sustentável para o setor produtivo exige a mudança das ações para a fonte dos problemas e a busca por processos e práticas menos impactantes e mais limpos. Ainda assim as indústrias enfrentam um desafio constante de melhorar seu desempenho produtivo com foco na qualidade de seus produtos. Este desafio precisa estar alinhado com a capacidade de cada empresa de estar inserida em um contexto de sustentabilidade, visto que o crescimento econômico sustentável é uma necessidade presente (HAUSCHILD, 2015). Um ponto importante a ser considerado, segundo Rocha, Moraes e Bastos (2015), é que a visão da evolução permanente das práticas preventivas impõe uma discussão sobre a velocidade desejada para essa evolução e a real possibilidade de se conseguir reverter o processo de degradação ambiental apenas a partir da evolução tecnológica.

Neste sentido, o trabalho realizado por Moraes; Simon; Vargas (2015) demonstrou que práticas ecoefetivas nos processos industriais podem trazer resultados positivos para o desenvolvimento da sustentabilidade. Com estas práticas também é possível deixar de extrair e economizar na compra de matéria-prima e destinar melhor os resíduos. O problema é que essa prática ainda não é adotada por muitas empresas, o que pode ser comprovado no estudo de caso dos autores.

Rocha; Moraes; Bastos (2015) afirmam que a cadeia produtiva metalmeccânica, por ser grande geradora de resíduos industriais perigosos, necessita de mudanças em relação às questões ambientais envolvidas em suas atividades. As ferramentas ambientais que englobam a sustentabilidade empresarial, em especial a Simbiose Industrial, podem trazer inúmeros

benefícios para este setor com a interação entre empresas geradoras de resíduo e empresas que podem vir a utilizá-lo.

Dentro deste contexto, é estudado o cavaco metálico, proveniente do processo de usinagem mecânica e considerado, de acordo com a PNRS, resíduo classe I-perigoso por estar contaminado com fluido de corte e tendo como destino convencional seu descarte em aterro industrial. A PNRS categoriza este resíduo como resíduo perigoso de varrição – pó de varrição de piso contaminado com: óleo, tinta, cavacos metálicos, pedaços de fios elétricos. O mesmo documento apresenta cavacos metálicos não ferrosos (alumínio, latão, cobre e inox) e ferrosos (ferro, ferro fundido e aço) como resíduo classe II A-não inertes, porém comenta se estão ou não contaminados com fluido de corte (BRASIL, 2010).

Segundo El Baradie (1996), a utilização dos fluidos de corte nos processos de usinagem prolonga a vida útil da ferramenta. Porém, o uso dos fluidos traz consigo alguns inconvenientes, como a dificuldade de reciclagem, elevado custo de tratamento para reciclagem e descarte do cavaco contaminado e, portanto poluição ambiental. A importância da limpeza de cavacos contaminado com óleo é discutida mundialmente. A qualidade dos materiais metálicos para a reciclagem é importante, pois esses afetam a qualidade do produto final, que quando contaminado com óleo aumenta a geração de materiais particulados, gases tóxicos e escória. Estes impactos ambientais negativos foram apontados como um dos principais problemas dos estudos desenvolvido por Alifer et al. (1989), Xião e Reuter (2002) e Torkar et al. (2010) sobre reciclagem de cavaco metálico contaminado com fluido de corte.

## 1.2 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa, a fim de solucionar o questionamento proposto, são descritos a seguir.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar ambiental e economicamente processos de limpeza para a reciclagem de cavacos metálicos contaminados com fluido de corte.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos propostos para esta pesquisa são:

- avaliar os processos geradores de cavacos metálicos contaminados com fluido de corte;
- avaliar o gerenciamento de cavacos contaminados em indústria metalmeccânica da região metropolitana de Porto Alegre;
- avaliar os processos existentes para tratamento de cavacos contaminados com fluido de corte;
- analisar a viabilidade ambiental e econômica dos processos de limpeza.

### 1.3 ESTRUTURA DA PESQUISA

Para apresentar o trabalho realizado, este estudo está estruturado em 5 capítulos incluindo o referencial teórico utilizado para fundamentar esta pesquisa, como é apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Estrutura do trabalho**

<b>Capítulos</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Contextualização</b>
1	Introdução	Aborda dados para introduzir ao leitor no assunto deste trabalho, justificativa, objetivos e delimitações do trabalho.
2	Revisão Bibliográfica	Contextualização teórica do problema e conceitos para embasar o estudo.
3	Metodologia	Metodologia utilizada para a coleta de dados nas empresas e técnicas para a avaliação ambiental e econômica.
4	Resultados	Apresentação e discussão dos resultados encontrados.
5	Conclusões	Apresentação das conclusões obtidas no estudo.

### 1.4 DELIMITAÇÕES E DIFICULDADES DO TRABALHO

Esta pesquisa limita-se ao processo de usinagem e à limpeza dos cavacos metálicos originados no respectivo processo. A área de investigação das empresas limita-se àquelas pertencentes ao setor metalmeccânico da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA).

As rotas de reciclagem deste trabalho também iniciam nas empresas geradoras dos cavacos até os PSAs que os recolhem para dar seguimento ao processo de reciclagem, não levando em consideração as rotas após esta etapa.

Esta pesquisa encontrou como grande dificuldade a definição do setor metalmeccânico e o acesso aos dados de empresas deste setor que possuem processo de usinagem.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apresenta-se neste capítulo a revisão bibliográfica necessária ao embasamento dos assuntos referentes ao tema desta pesquisa.

### 2.1 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

De acordo com a Agenda 21 (1997), é preciso promover um círculo virtuoso, em que a produção obedeça a critérios de conservação ambiental duradouros e de aperfeiçoamento progressivo nos padrões de distribuição de renda. Esta, por sua vez, consagrou o conceito de sustentabilidade ampliada, que preconiza a ideia da sustentabilidade permeando todas as dimensões da vida: econômica, social, territorial, científica e tecnológica, política e cultural. Embora o maior desafio deste documento brasileiro seja internalizar nas políticas públicas do país os valores e princípios do desenvolvimento sustentável, cabe ressaltar que no atual ambiente competitivo interempresarial, as empresas tendem a melhorar seu desempenho estabelecendo uma estratégia competitiva, visando englobar as pessoas e o Planeta de forma que a utilização dos recursos não interfira nas comunidades vizinhas e no ambiente natural. Assim caracteriza-se o desenvolvimento sustentável preservando o meio ambiente como um todo, incluindo questões sociais. (GOLINSKA et al., 2014; LIMA, 2010).

De acordo com Zhang; Haapala (2014), os consumidores, tanto pessoais como indústrias, estão atentos e exigindo produtos com viés para a sustentabilidade, instigando as empresas a traçar suas próprias metas de sustentabilidade com o intuito de reduzir riscos do mercado. A ideia de fabricação sustentável é entendida como o processo de produção de produtos de forma a minimizar os impactos ambientais e assumir a responsabilidade social com os colaboradores, comunidade e consumidores em todo o ciclo de vida de um produto, somando a um benefício econômico (HAAPALA et al., 2013).

O estudo realizado por Zhang; Haapala (2014) argumenta que embora muitas pesquisas sejam realizadas com intuito de promover a sustentabilidade empresarial, as propostas, métodos e ferramentas que visam à melhoria do processo de fabricação ainda são falhos. Para isso, os autores desenvolveram uma abordagem que insere a avaliação econômica, de impacto ambiental e social a fim de avaliar a sustentabilidade de uma célula de trabalho de fabricação. Esta avaliação é realizada por meio de tomada decisões através do *Preference Organization Method for Enrichment of Evaluations* (PROMETHEE).

Já a pesquisa de Lima (2010) propõe uma Matriz de Posicionamento Estratégico de Sustentabilidade, baseada em três pilares: impacto ambiental da cadeia produtiva de um determinado produto; lucro; e retorno econômico ampliado, sem focar na avaliação social. Esta ferramenta tem a função de analisar os impactos financeiros e ambientais de um ou mais produtos.

Chang; Kuo; Chen (2011) discutem que a sustentabilidade corporativa se dá por meio de regulamentos industriais e iniciativas políticas que podem promover o desenvolvimento sustentável nas empresas e em suas respectivas cadeias de fornecedores, assim como os processos de auditoria devem ser projetados de acordo com o cenário particular de cada indústria.

## 2.2 ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

De acordo com a NBR ISO 14001 (ABNT, 2015, p. 3), aspecto ambiental é um “elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente”. Já a definição de impacto ambiental, conforme a mesma normativa, é “qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização”.

A avaliação do efeito (impacto) de uma determinada ação (aspecto) humana sob o meio ambiente é considerada uma avaliação de impacto ambiental (AIA) (BILGIN, 2015). De acordo com Jay et al. (2007), na década de 1960 surgiu a filosofia e os princípios dos aspectos e impactos ambientais, que desde então esteve envolvido em um conjunto de ferramentas para avaliação. Isto se deve, principalmente à sua base de leis, que começou a entrar em vigor em 1969 nos Estados Unidos com a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente (*National Environmental Policy Act - NEPA*) e acabou servindo como modelo em todo o mundo.

Com uma AIA é possível avaliar, a partir dos aspectos, quais serão os possíveis impactos de um produto ou processo em fase de projeto e, assim, tomar a decisão se será ou não viável do ponto de vista ambiental e se será aprovada para prosseguir (BILGIN, 2015; JAY et al., 2007). Portanto, o procedimento de identificação e avaliação dos aspectos e impactos ambientais pode ser utilizado tanto na fase de projeto como para um produto ou processo já em fase de utilização.

Embora existam muitas definições por diversos autores, todas têm objetivos similares, e para Bilgin (2015), Jay et al. (2007), Sanchez (2011) e Toro et al. (2011, 2013) o

principal objetivo da AIA é, acima das questões econômicas, ser utilizado como um instrumento analítico de proteção dos valores ambientais ao determinar os impactos positivos e negativos de uma determinada atividade. Desta forma é possível antever se uma atividade gera impactos ambientais negativos e deve ser, sempre que possível evitada, desencadeando um desenvolvimento de maneira aceitável.

Como exemplo de análise de aspectos e impactos ambientais na fase de projeto na área da construção civil, o estudo de Gangolells et al. (2014) propôs uma abordagem para prever impactos ambientais em obras de engenharia municipais. Identificaram-se impactos ambientais significativos em um projeto, antes da fase de execução e ações preventivas puderam ser planejadas e implementadas durante as atividades. Também foi possível comparar as propostas de projetos e alternativas em relação a um determinado aspecto ambiental e seu respectivo impacto ambiental local, possibilitando às empresas de construção um melhor desempenho ambiental de seus projetos.

### **2.2.1 Identificação e Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais**

Conforme a NBR ISO 14001 (ABNT, 2015), a identificação de aspectos ambientais deve levar em consideração entradas e saídas do processo, tanto em condições operacionais normais ou anormais, situações de emergência que, na medida do possível, possam ser previstas e condições de parada e partida da atividade.

A partir da definição já apresentada de aspectos ambientais, Fuertes et al. (2013) salientam a identificação de quais e quando os aspectos devem ser medidos, de forma a facilitar a tomada de medidas preventivas e corretivas adequadas. Dentro deste contexto, a NBR ISO 14001 (ABNT, 2015) oferece alguns exemplos de aspectos ambientais, tais como emissões atmosféricas, lançamentos em corpos d'água e no solo, uso de matérias-primas e recursos naturais e uso de energia (calor, radiação e vibração).

A mesma normativa enfatiza que não há método único para determinar quais serão os impactos ambientais significativos de uma determinada atividade, processo ou produto. Para tanto, recomenda que o método utilizado resulte em informações coerentes e informe os critérios de avaliação. Com base na observação de algumas metodologias publicadas na literatura e outras aplicadas por empresas do setor metalmeccânico, porém não publicadas, pode-se observar que critérios para avaliação da significância do impacto ambiental como localização do dano (abrangência), gravidade e capacidade de remediação do dano (severidade) e sua

periodicidade de ocorrência (frequência) são necessários em uma avaliação de aspectos e impactos ambientais. (ABNT, 2015; SOUZA, 2009; SANCHEZ, 2011; GANGOLELLS et al., 2014; PUIG et al., 2015).

Diante da dificuldade de acesso às metodologias já existentes de avaliação, Puig et al (2015) verificaram a necessidade de criar uma metodologia padrão que possa ser utilizada por todos os portos da Europa, independente da sua capacidade de atuação e perfil comercial. Devido a esta dificuldade encontrada, eles desenvolveram uma ferramenta para identificação dos principais aspectos ambientais em portos e a respectiva avaliação de significância dos impactos associados. Segundo os autores, o projeto da criação de uma metodologia padrão a ser aplicada em portos surgiu a partir da demanda de considerar, junto aos aspectos ambientais, questões de conformidade legal e demanda dos *stakeholders*, além dos requisitos exigidos pela NBR ISO 14001 (ABNT, 2015). Os autores ainda afirmam que o processo de identificação e avaliação dos aspectos ambientais deve ser contínua para garantir a qualidade ambiental, pois o perfil de atividade de um porto muda com o tempo, em termos de cargas, de desenvolvimento portuário e mudanças para a indústria da área do porto.

Souza (2009) desenvolveu uma metodologia de levantamento de aspectos e impactos ambientais a ser aplicada em postos revendedores de combustíveis considerando suas principais atividades realizadas. A metodologia aplicada pelo autor considera, além dos critérios necessários já citados anteriormente, as classes dos impactos ambientais, ou seja, se o impacto altera positiva ou negativamente o ambiente. Outros critérios abordados são, se o posto revendedor de combustível tem responsabilidade direta ou indireta sob o aspecto ambiental, e em relação a temporalidade do impacto, isto é: se o impacto foi identificado no presente, mas é consequência de uma atividade do passado, de uma atividade atual ou foi previsto para atividades a serem implementadas no futuro.

Diferentes indicadores, métodos e instrumentos de avaliação de impactos ambientais vêm sendo desenvolvidos a fim de melhorar o desempenho ambiental de diferentes sistemas e produtos (ZAFEIRAKOPOULOS; GENEVOIS, 2015). Desta forma, neste trabalho será apresentada a metodologia de identificação e avaliação de aspectos e impactos ambientais do sistema de gestão ambiental da Unisinos (SGA UNISINOS, 2015), uma vez que este atende aos itens 4.3.1 Aspectos Ambientais estabelecidos na NBR ISO 14001 (ABNT, 2015), já citada anteriormente. O SGA UNISINOS (2015) apresenta algumas codificações dos impactos ambientais, como apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 – Impactos ambientais**

<b>Nome</b>	<b>Definição</b>	<b>Exemplo</b>
Contaminação hídrica	Alteração da qualidade da água causando danos à saúde, à flora e à fauna.	Descarte de álcoois e ácidos.
Contaminação do solo	Alteração da qualidade do solo causando danos à saúde, à flora e à fauna.	Derramamento de óleos.
Alteração da qualidade do ar	Emissão de gases e poeiras causando danos à saúde, à fauna e à flora.	Emissão de fumaça veicular.
Risco à saúde	Exposição à agentes físico, químico e biológicos com potencial de dano à saúde.	Manipulação de materiais infectados e produtos contaminados.
Poluição sonora	Ruídos, barulhos e sons acima dos níveis determinados pelo CONAMA 01/90 e NBR 10151 causando danos à saúde e à fauna.	Uso de motores, buzinas, alarmes e compressores.
Danos à fauna e flora	Manejo inadequado da flora e fauna causando danos a ecossistemas.	Derrubada de árvores e introdução de espécies exóticas.
Uso de recurso natural não-renovável ou escasso	Emprego de materiais que estão disponíveis em quantidade limitada (finita) na natureza.	Consumo de derivados de petróleo e água.
Uso de recurso natural renovável	Emprego de materiais que são repostos natural ou artificialmente na natureza.	Supressão de florestas para fabricação de papel e móveis.
Efeito estufa	Aumento gradativo da temperatura terrestre causada pela emissão de Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O), e outros gases.	Queima de combustíveis fósseis.
Ataque à camada de ozônio	Destruição da camada de ozônio causada pela emissão de compostos clorados, permitindo a exposição excessiva à radiação ultravioleta.	Liberação de gases do tipo CFC durante a manutenção de equipamentos de refrigeração.
Chuva ácida	Modificação da qualidade da água de chuva causada pela emissão de gases formadores de ácidos sulfúrico, nítrico, nitroso e clorídrico.	Queima de combustíveis fósseis e plásticos.
Risco ao patrimônio	Efeito de uma atividade com potencial de dano aos bens materiais da instalação e seu entorno.	Incêndio ou explosão de instalações e equipamentos.
Ocupação de aterros	Uso e ocupação do solo para disposição de resíduos sólidos.	Disposição final de materiais reaproveitáveis e/ou recicláveis em aterros sanitários gerando um passivo ambiental.

Fonte: SGA UNISINOS (2015).

A partir destes exemplos, o SGA UNISINOS (2015) caracteriza os aspectos e impactos ambientais considerando abrangência, severidade e frequência. A abrangência indica o âmbito alcançado pelo impacto ambiental, ou seja, a localização do dano e é pontuado conforme Tabela 4.

**Tabela 4 – Abrangência**

<b>Pontuação</b>	<b>Classificação</b>	<b>Exemplo</b>
1	Pode causar impacto no entorno do local de ocorrência.	Geração de odores. Esgoto doméstico e todos os aspectos associados ao impacto “risco à saúde”.
2	Pode causar impacto que ultrapassa o local de ocorrência, porém é restrito aos limites da instalação.	Incêndio causado por produtos químicos inflamáveis e vazamento/derrame de produtos químicos.
3	Pode causar impacto regional ultrapassando os limites da instalação até 100km do seu entorno.	Consumo de gases, uso de materiais, geração de resíduos, uso de produtos químicos inflamáveis.
4	Pode causar impacto regional ultrapassando 100km dos limites da instalação.	Consumo de água e energia e geração de resíduos.

Fonte: SGA UNISINOS (2015).

A gravidade da alteração causada pelo impacto ambiental e sua reversibilidade, capacidade de auto remediação, é chamada de severidade (SGA UNISINOS, 2015) e deve ser pontuada conforme especificações da Tabela 5.

**Tabela 5 – Severidade**

<b>Pontuação</b>	<b>Classificação</b>
1	Não causa danos.
2	Causa danos leves com parâmetros acima de limites estabelecidos pela legislação ou normas, entretanto o impacto cessa com a adequação do aspecto via controle operacional.
4	Causa danos severos com parâmetros acima dos limites estabelecidos pela legislação ou normas, entretanto, apesar do impacto cessar com a adequação do aspecto via controle operacional, os danos causados são irreversíveis e/ou necessitam de uma estrutura externa à Instalação Industrial a fim de que haja recuperação ou mitigação do impacto.

Fonte: SGA UNISINOS (2015).

Ainda para o SGA UNISINOS (2015), a frequência é a periodicidade de ocorrência do aspecto e seu respectivo impacto ambiental em um cenário de situação normal, de acordo com a Tabela 6.

**Tabela 6 – Frequência**

<b>Pontuação</b>	<b>Ocorrência</b>
1	Semestral ou maior
2	Mensal
3	Semanal
4	Diária

Fonte: SGA UNISINOS (2015).

Após a etapa de avaliação e pontuação descritas nas Tabela 4, Tabela 5 e Tabela 6, a pontuação dos critérios abrangência, severidade e frequência deve ser somada e os resultados devem ser classificados conforme a Tabela 7.

**Tabela 7 – Resultado dos critérios de avaliação**

<b>Pontuação</b>	<b>Ocorrência</b>
3 – 6	Desprezível
7 - 9	Moderado
10 - 18	Crítico

Fonte: SGA UNISINOS (2015).

Ao interpretar os resultados da pontuação, o SGA UNISINOS (2015) considera significativo todo aspecto ou impacto classificado como moderado ou crítico. Estes considerados significativos devem receber maior atenção da equipe responsável. Terá prioridade secundária todo aspecto ou impacto ambiental que for identificado como moderado, da mesma forma que os identificados como críticos devem receber prioridade 1.

### 2.3 GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS METÁLICOS

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos são classificados em resíduos não perigosos não inerte e inerte e perigosos. Os perigosos são todos aqueles que causam risco à saúde pública ou ao meio ambiente e os não perigosos são os que não causam. São também considerados resíduos sólidos, além de resíduos no estado semissólido e sólido, lodos industriais ou de estações de tratamento de água, assim como demais líquidos que não possam ser despejados em corpos de água ou na rede pública de esgoto. A Tabela 8 apresenta a classificação dos resíduos de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004).

**Tabela 8 – Classificação dos resíduos sólidos**

<b>Classificação</b>		<b>Características</b>
Classe I - Perigosos		Periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e/ou patogenicidade.
Classe II - Não Perigosos	A - Não inertes	Biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Resíduos que não se classificam como Classe I ou Classe II A.
	B - Inertes	Não apresenta solubilidade dos constituintes a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor quando submetidos ao contato de água destilada ou deionizada à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006.

Fonte: NBR 10004 (ABNT, 2004).

De acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), o resíduo cavaco metálico contaminado com fluido de corte é classificado como resíduo sólido em função do cavaco metálico, uma vez que o fluido de corte não pode ser livremente descartado pois apresenta risco ao meio ambiente, a não ser que haja solução técnica para isso. Dentro deste contexto, o cavaco metálico, de acordo com a PNRS, é considerado resíduo classe I-perigoso.

O Banco Mundial de Sucatas em seu último relatório publicado em 2000 afirma que o principal motivo da atenção da indústria siderúrgica na sucata ferrosa é o crescimento das aciarias elétricas na produção siderúrgica mundial, uma vez que a sucata é o principal elemento metálico da carga de fornos elétricos a arco (GERÊNCIA SETORIAL DE MINERAÇÃO E METALURGIA, 2000).

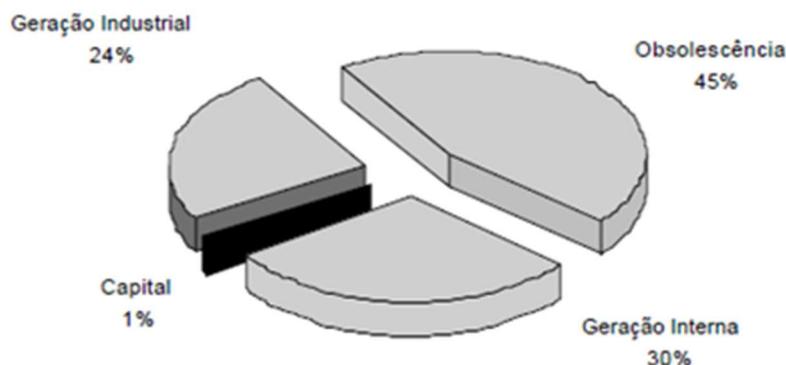
A lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, tem por finalidade promover a destinação correta de todo tipo de resíduo sólido, por meio da responsabilidade compartilhada dos diferentes agentes envolvidos na cadeia produtiva. Com base nesta lei, somente os rejeitos - materiais que não podem mais ser reaproveitados, reciclados ou recuperados - devem ser depositados em disposição final ambientalmente adequadas. No caso de rejeitos industriais, estes devem ser dispostos em aterro industrial. Por reciclagem compreende-se o processo de transformação dos resíduos sólidos através da alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas, ou biológicas resultando na sua transformação em subprodutos ou coprodutos. Já a reutilização caracteriza-se pelo processo de aproveitamento de resíduos sólidos sem a transformação citada na reciclagem. (BRASIL, 2010). Porém, algumas empresas estão descartando seu resíduo sucata metálica contaminada com fluido de corte em aterros industriais, mesmo que estes possam ser reciclados.

Ao se tomar a decisão entre reaproveitar, reciclar ou dispor em aterro um resíduo, deve-se levar em consideração, além de questões de viabilidade tecnológica, a viabilidade ambiental de transporte do resíduo, uma vez que o setor de transporte está diretamente associado a diferentes questões ambientais. Entre estes problemas, têm-se a emissão de poluentes atmosféricos, principalmente no transporte rodoviário, poluição sonora, uso de combustíveis, disputa do espaço urbano e segurança. Apesar disto, o transporte é de suma importância para a sociedade, visto que o desenvolvimento econômico está vinculado com a mobilidade (JACONDINO, 2005).

A sucata é classificada de acordo com a sua origem (Gerência Setorial de Mineração e Metalurgia, 2000), podendo ser resultante de:

- geração interna – metal sucateado na própria usina;
- geração industrial – originada nas montadoras e demais indústrias transformadoras de produtos siderúrgicos;
- obsolescência – bens de consumo obsoletos, tais como automóveis, eletrodomésticos, silos, etc.;

- bens de capital sucateados – demolição de unidades industriais e/ou máquinas e equipamentos obsoletos.



**Figura 2 - Distribuição das ofertas dos tipos de sucata**

Fonte: GERÊNCIA SETORIAL DE MINERAÇÃO E METALURGIA (2000).

Dentro das classificações apresentadas acima, a Figura 2 apresenta a distribuição da geração dos tipos de sucata, onde 70% é proveniente da coleta de geração industrial mais a obsolescência de equipamentos enquanto que o resto é originado nas próprias indústrias de siderurgia e fundição GERÊNCIA SETORIAL DE MINERAÇÃO E METALURGIA, 2000). O Relatório Técnico de Reciclagem de Metais no País (2009) mostrou que no ano de 2007 o consumo de sucatas no Brasil foi de 8.853 milhões de toneladas.

#### 2.4 ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE

De acordo com Moraes; Simon; Vargas (2015), o setor metalmeccânico, realiza práticas de ecoeficiência ao remediar e tratar os resíduos após sua geração, por exigências da legislação. Ao mesmo tempo, poder-se-ia adotar práticas ecoefetivas ao otimizar processos e melhorar o aproveitamento de matéria-prima e energia. A ecoeficiência para Carvalho; Gomes (2008) apresenta-se como um significativo avanço na área ambiental, contribuindo para uma sociedade mais sustentável e auxiliando as empresas no crescimento qualitativo, promovendo mais serviço, benefícios e valor, ao invés de transformar mais materiais em energia e desperdício. A adoção de princípios ecoeficientes melhora ainda a qualidade de vida das pessoas ao reduzir a poluição ambiental e gerar produtos de qualidade superior.

Neste sentido, Alves; Medeiros (2015) mostraram que é possível, através de ações ecoeficientes simples e de baixo custo, obter resultados positivos pela diminuição de consumo e aumento de venda de materiais para as micro e pequenas empresas. Os autores afirmam que

três anos depois da implementação das ações foi realizada uma análise dos resultados onde foram obtidos dados mais consistentes em aspectos econômicos, ambientais e sociais em relação ao consumo de água, consumo de energia elétrica, coleta seletiva, vendas de bateria automotiva, e da reciclagem de sucatas de autopeças.

O sistema capaz de produzir mais e melhor utilizando menos recursos e diminuindo a geração de resíduos é o sistema ecoeficiente (MORAES; SIMON; VARGAS, 2015). Stephan Schmidheiny, fundador do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2000), definiu o melhor termo para exprimir eficiência econômica e ambiental: ecoeficiência. Este termo vem despertando maior atenção por parte dos governos e sociedades, uma vez que tem sido disseminado como instrumento de mensuração e avaliação de desempenho empresarial.

A definição de ecoeficiência como uma filosofia de gestão que habilita a busca por melhorias no desempenho ambiental e, em paralelo, na rentabilidade dos negócios, é composta por três grandes objetivos: redução do consumo de recursos; redução do impacto na natureza e, aumento do valor do produto ou serviço (WBCSC, 2000). Neste sentido, Lutkemeyer (2014) acentua que a obtenção de tais objetivos é suportada pela entrega de produtos que satisfaçam as necessidades humanas e melhorem a qualidade de vida.

Almeida (2002) lista sete elementos da ecoeficiência, conforme Tabela 9.

**Tabela 9 – Elementos da ecoeficiência**

<b>Elemento</b>	<b>Descrição</b>
1	Redução do consumo de materiais com bens e serviços.
2	Redução do consumo de energia com bens e serviços.
3	Redução da emissão de substâncias tóxicas.
4	Intensificação da reciclagem de materiais.
5	Maximização do uso sustentável de recursos renováveis.
6	Prolongamento da durabilidade dos produtos.
7	Agregação de valor aos bens e serviços.

Fonte: Almeida (2012).

Contudo, para Braungart; McDonough (2007, 2009), a redução como um dos elementos centrais da ecoeficiência, não altera o fluxo linear do consumo de recursos e ignora os efeitos de longo prazo sobre os ecossistemas naturais. O conceito de redução demonstra ser apropriado para sistemas produtivos tornarem-se apenas menos destrutivo, pois permitem desacelerar o esgotamento dos recursos naturais. Braungart; McDonough (2009) e Braungart; McDonough; Bollinger (2007) apostam em uma mudança de conceito em relação ao sistema industrial tradicional, que utiliza produtos tóxicos em sua cadeia produtiva, sem a preocupação de utilizar materiais ecologicamente corretos e processos que permitam a fácil manutenção e

desmontagem do produto. Estes requisitos, quando observados, garantem maior durabilidade para o produto e contribuem para que haja um sistema fechado de reciclagem, no qual o produto final retorna ao seu estado inicial, ou quando descartado, se degrada e não contamina o meio ambiente.

O objetivo da abordagem ecoefetiva, ao contrário da ecoeficiente, é o de manter os fluxos em ciclo fechado e estimular o *design* em harmonia com os sistemas naturais (SILVA; FIGUEIREDO, 2010), possibilitando o fluxo de materiais do berço ao berço (LUTKEMEYER, 2014). Esta abordagem parte do princípio de que a indústria seja regenerativa e não destrutiva, e que, a partir de uma lógica de desenvolvimento de produtos sustentáveis, os sistemas de produção operem por meio de ciclos fechados de materiais (MORAES; SIMON; VARGAS, 2015).

Braungart; McDonough (2009) propõem cinco passos para que as indústrias e seus processos produtivos possam alcançar a ecoefetividade: a) ausência de produtos tóxicos conhecidos; b) escolha de matérias-primas menos agressivas ao meio ambiente e ao ser humano; c) inovação na escolha de matérias-primas com menor impacto social e ambiental, atendendo a função inicial; d) busca por ser bom e não pelo menos ruim e; e) e reinventar para garantir efeitos reais e positivos para o meio ambiente. A Tabela 10 apresenta, de acordo com Lutkemeyer (2014), elementos que atribuem características para as abordagens ecoeficientes e ecoefetivas.

**Tabela 10 – Características da ecoeficiência e da ecoefetividade**

<b>Elemento</b>	<b>Ecoeficiente</b>	<b>Ecoefetivo</b>
Orientação	Tende a promover ações com resultados de curto prazo.	Tende a promover ações com resultados de longo prazo.
Paradigma	Redução e minimização (berço ao túmulo).	Resíduo = nutriente (berço ao berço).
Pressupostos	Fluxo linear de materiais.	Fluxo cíclico de materiais.
Inovação	Tende a ser incremental.	Tende a ser radical.
Visão de negócio	Aumenta a longevidade do uso dos produtos (reparo, reuso, remanufatura, reciclagem).	Venda de atributos de desempenho e utilidade ao invés da simples venda do produto; novos modelos de negócio.

Fonte: Adaptado de Lutkemeyer (2014).

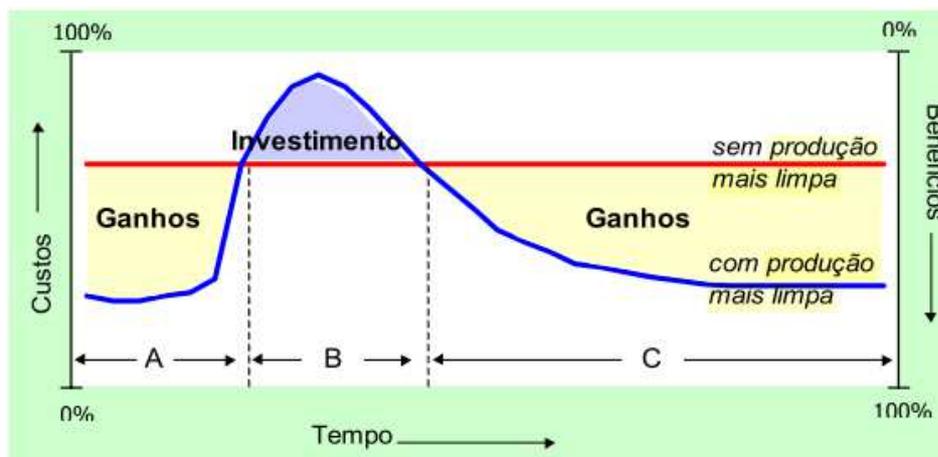
Contudo e de acordo com HAUSCHILD (2015) verifica-se a necessidade de introduzir foco sobre a ecoefetividade junto à visão tradicional da ecoeficiência no desenvolvimento industrial para que a contribuição integrada da indústria para a sociedade seja a de agregar valor econômico e ser mais sustentável.

## 2.5 PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Conforme Silvestre; Neto (2014), as primeiras iniciativas ambientais começaram no início da década de 80 e eram centradas no controle da poluição do solo, ar ou água e não exatamente na prevenção destes poluentes. Na mesma época surgiu um conceito com a finalidade de rever processos, gestão e práticas operacionais nos ciclos produtivos, com ênfase na redução da geração de resíduos e da poluição. Este conceito chama-se Produção mais Limpa (P+L) e, tem como principal objetivo mudar o foco de controle para o de prevenção da geração de resíduos e, quando possível, adotar práticas de controle da poluição. (KHALILI et al., 2014). Ao mesmo tempo, visa melhorar a lucratividade, eficiência e a competitividade das empresas com melhoria contínua tornando o processo cada vez menos agressivo ao homem e ao meio ambiente (NETO; CHAVES; VENDRAMETTO, 2010).

O objetivo da P+L é alcançado através do conhecimento de entradas e saídas dos processos identificando etapas críticas de geração de resíduos e custos econômicos (MORAES et al., 2012). Um estudo realizado por Zeng et al. (2010) mostrou que a implementação de atividades aplicando P+L com baixo investimento geram benefícios financeiros imediatos. No entanto, a implementação de atividades de P+L com alto investimento tem o seu maior reconhecimento no desempenho não financeiro, tal como a reputação da empresa. As atividades de P+L de alto investimento, como por exemplo a utilização de energia eficiente e tecnologias limpas, requerem significativo investimento financeiro, o que algumas vezes pode não resultar em benefício econômico imediato, ou seja, a tendência é que sejam de longo prazo.

A afirmação acima pode ser confirmada com a Figura 3 que ilustra os benefícios econômicos da P+L, onde a letra A representa atividades com baixo investimento e benefício financeiro imediato. Já a letra B representa, conforme exposto por Zeng et al. (2010), as atividades com alto investimento financeiro cujo respectivo benefício econômico é representado pela letra C ao longo do tempo. Castillo-Vergara et al. (2015) também exemplificam ações de P+L com alto investimento e resultados a longo prazo na utilização e tratamento de água no processo de produção de Pisco, no Chile. Embora os autores não apresentem valores monetários, concluem que neste estudo houve equilíbrio entre os custos e benefícios decorrentes da implementação da P+L. Além da redução de custo para tratamento dos efluentes líquidos, a redução do consumo de água gerou redução de custo para tratamento da água antes de sua utilização na produção.



**Figura 3 – Custos e benefícios econômicos da P+L**

Fonte: CNTL (2003).

O conceito de P+L aborda dois segmentos para a possível identificação de opções de ações, sendo um deles a minimização de resíduos e emissões e o outro a reciclagem dos materiais (CNTL, 2003). O estudo apresentado por Gianetti et al. (2008) ilustra a aplicação de P+L em uma empresa de médio porte que fabrica joias banhadas a ouro, com práticas de modificação de processo obtendo ganhos de eficiência em ações sem investimento, tal como reutilização de caixas de papelão em várias partes da empresa e a venda do mesmo para empresas de reciclagem. Benefícios como redução no consumo de água e mudança na utilização de matérias primas também foram observadas economizando um total de US\$ 115.881,70, onde as boas práticas operacionais representam 6% e mudanças tecnológicas representam 94%. Tais resultados adequam-se ao fluxograma da geração de opções de P+L proposto pelo CNTL (2003), e pode ser observado na Figura 4.

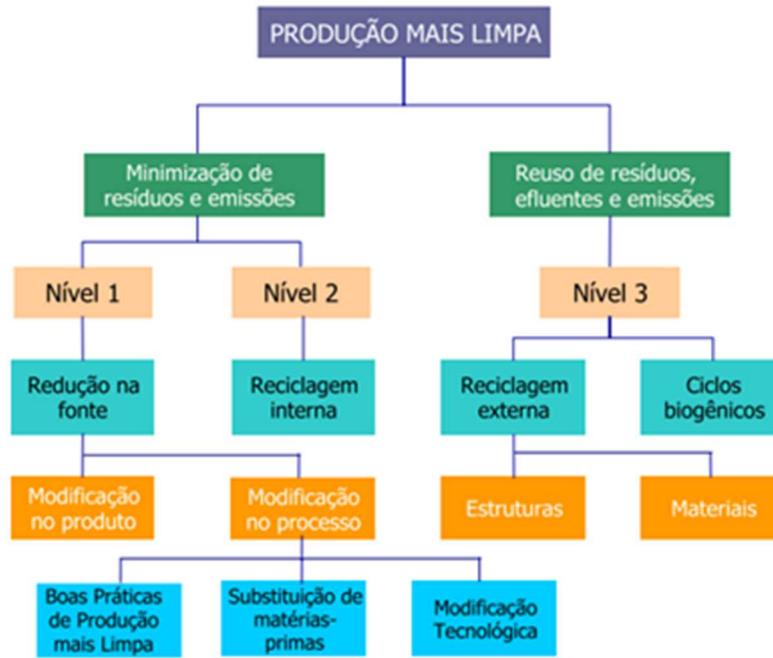


Figura 4 – Fluxograma da geração de opções de P+L

Fonte: CNTL (2003).

Gianetti et al. (2008) ainda ressaltam possíveis ações a serem implementadas no futuro e que exigem maior investimento financeiro, que se enquadram no nível 1 do fluxograma, especificamente em modificação tecnológica. Oliveira e Alves (2007) propuseram a aplicação de P+L em uma empresa de usinagem do setor metalmeccânico, e, entre os possíveis resultados dentro das ações de redução na fonte, sugeriram a aprimoração do projeto da peça a ser trabalhada com o intuito de reduzir as dimensões para mais próximas da peça acabada. Ao final do processo, o objetivo é obter menor quantidade de cavacos através desta modificação no produto.

Após a implementação das ações de P+L, Massote; Santi (2013) enfatizam a redução de custos e de consumo de material que são proporcionadas a partir das iniciativas de P+L em uma fábrica de móveis de madeira. Os autores propuseram a diminuição de matéria prima e no consumo de água, obtendo redução no consumo de 3% e 66%, respectivamente. Desta forma, o resultado destas reduções ocasionou uma redução de 23% na geração de resíduos sólidos e 93% menos efluente através de investimento no valor de US\$ 13.130,00 com retorno do investimento de cerca de um ano e com retorno financeiro de US\$ 75.100,00 por ano. Ainda afirmam que a continuidade das ações implementadas é relativamente mais fácil que sua aplicação, uma vez que a empresa já passou por processo de conscientização ambiental e tem conhecimento de seus resultados positivos.

Neto; Chaves; Vendrametto (2010) apresentaram a implementação do programa de P+L na reciclagem de Poliuretano (PU) em ciclo fechado dentro da própria empresa de fabricação de borracha de pequeno porte. Neste projeto houve investimento na compra de equipamentos específicos para a reciclagem e a redução do custo com a compra de matéria-prima e o recolhimento de 8 toneladas de resíduos dos clientes estão entre as vantagens. Levando-se em consideração o aumento do consumo de energia elétrica, causado pelos novos equipamentos, e o aumento do custo com transporte ao recolher o resíduo nos clientes, a empresa contou com uma economia líquida de R\$80.850,00.

Outro exemplo de aplicação do programa de P+L foi realizado em uma indústria de fundição de pequeno porte apresentado por Moraes et al. (2012). Ações de minimização de resíduos e emissões foram implementadas representando modificações tecnológicas e boas práticas operacionais somando benefício econômico anual de R\$735.402,91 e, além disto, 650 toneladas de resíduos deixaram de ser geradas no período de 365 dias. A seguir é apresentada a Tabela 11 com resumo das práticas de P+L estudadas e os respectivos ganhos econômicos.

**Tabela 11– Ganhos econômicos com a P+L**

<b>Autor</b>	<b>Segmento</b>	<b>Porte</b>	<b>Ganhos econômicos</b>	<b>Redução geração resíduos</b>
Gianetti et al. (2008)	Jóias	Médio	US\$ 115.881,70/ano	-
Massote e Santi (2013)	Móveis de madeira	-	US\$75.100,00/ano	23% resíduos sólidos 93% efluentes
Neto, Chavez e Vendrametto (2010)	Fabricação de borracha	Pequeno	R\$80.850,00/ano	Reutiliza 18 ton. de PU
Moraes et al. (2012)	Fundição	Pequeno	R\$735.402,91/ano	650 ton.

## 2.6 COPRODUTO

O crescimento econômico ainda é fortemente dependente de recursos naturais, e esta relação tem causado o desequilíbrio crescente dos ecossistemas. Com isso, os processos de reutilização e reciclagem de resíduos industriais proporcionam redução da demanda de matéria-prima e energia. (ASSADOURIAN, 2012). Mas, para que a reutilização e a reciclagem aconteçam é preciso mudar a forma de pensar a produção, de indústria destrutiva para regenerativa e, conforme destaca Carvalho e Gomes (2008), as mudanças de compreensão e comportamento sobre o meio ambiente elevaram as demandas pela eficiência econômica de processos e produtos, criando premissas convergentes entre o meio ambiente e o desenvolvimento de atividades empresariais.

A proposta de Braungart; McDonough (2009) e Braungart; McDonough; Bollinger (2007) é de mostrar que os resíduos não devem ser considerados como lixo, uma vez que se tornam alimento, ou seja, matéria-prima para um novo produto. Dentro desta proposta, não existe a necessidade do novo produto ter o mesmo mercado ou função do produto original. No contexto tecnológico, os resíduos da fabricação de um determinado produto podem ser reutilizados, podendo sofrer algum processo de transformação para posterior aplicação na produção do mesmo produto como matéria-prima. Isso pode ser observado no aumento do mercado para utilização de resíduos, visto que muitas empresas já estão comercializando esse material, tanto para venda como para a aquisição.

Para Rocha; Moraes; Bastos (2015), as trocas físicas de materiais e energia, intercâmbio de conhecimento, de recursos humanos e técnicos por meio de relações simbióticas regionais de longo prazo proporcionando benefícios econômicos e ambientais definem a Simbiose Industrial. Através de estudos de caso onde pode-se observar o momento em que um resíduo deixa de ser resíduo e passa a ser um coproduto com valor agregado sendo reaproveitado no próprio processo ou como matéria prima em outra empresa, mantendo uma relação simbiótica. Dentro do setor industrial de alimentação, o termo coproduto é bastante utilizado. No entanto, Oliveira (2014) destaca que os coprodutos eram considerados subprodutos ou resíduos na indústria alimentícia.

Para Weidema (1999), a produção da maioria de produtos gera coprodutos, ou seja, os coprodutos têm importância, pois além de ser resíduo com valor agregado, pode ter outra utilidade para o mercado ou ser matéria-prima de outro processo. Neste sentido, tem sido investigada a utilização de coprodutos e subprodutos de processos produtivos, tais como no beneficiamento do carvão mineral (FEIL; NETO, 2008), na utilização de subprodutos de peixe para conservação dos recursos marinhos (LOPES et al., 2015) e a produção de bioetanol a partir de coprodutos do biodiesel brasileiro (VISSER et al. 2011).

## 2.7 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Vem crescendo o interesse por parte de profissionais, da área de ecologia industrial, em questões econômicas, que diz respeito a matéria-prima/produtos (entradas e saídas). Grande parte deste interesse se aplica em analisar fluxo de materiais e energia nos processos com intuito de quantificar questões ambientais com processos e produtos específicos a fim de manter relação ambiental e economicamente harmoniosa entre os mesmos (SUH; KAGAWA, 2010).

As mudanças de processos e investimentos no meio empresarial, para serem aceitos, precisam demonstrar que são viáveis economicamente e que seu investimento se paga em determinado período, auxiliando o processo de decisão. De acordo com Dalbem; Brandão; Macedo-Soares (2010), foi na década de 1960 que as metodologias de avaliação econômica começaram a se desenvolver nos Estados Unidos e em países da Europa no intuito de responder a melhor forma de investir recursos escassos. Os autores ainda ressaltam que a viabilidade de um projeto é determinada quando seu rendimento econômico comprove que o investimento realizado e custo de operação será menor que sua receita. Esta comprovação pode ser feita através de indicadores como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), análise de *payback*, entre outras. (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

Sobral (2012) define VPL como uma técnica que considera o valor do dinheiro no futuro, ou seja, a rentabilidade mínima exigida em relação a algum investimento. Todos os custos e benefícios ao longo do projeto são considerados como valores no presente. A Equação 1 apresenta como é verificado o VPL em determinado período de tempo.

$$VPL = -V_o + \sum_1^n \left( \frac{F_c}{(1+i)^n} \right)$$

**Equação 1**

Onde:

$F_c$  = Fluxo de caixa no período  $n$  (\$);

$V_o$  = Investimento inicial (\$);

$i$  = Taxa de juros (%);

$n$  = índice do período (meses ou anos).

Wottrich (2010) apresenta outro método de calcular o tempo de retorno de capital, chamado *payback*, que se refere ao tempo em que o lucro líquido se iguala ao valor investido anteriormente, de acordo com a Equação 2. Este método é considerado de simples avaliação, uma vez que não leva em consideração demais custos de oportunidade de um projeto. Projetos que apresentam menor *payback* são vistos como menor risco, uma vez que há incerteza de retorno positivo de caixa quando o retorno se dá em tempo muito longo. O autor ainda recomenda utilizar este método antes de realizar investimentos, servindo como base para tomada de decisões.

$$\text{Payback} = T \text{ quando } \sum_{t=0}^T FC_t = I_0$$

Equação 2

Onde:

FC = Fluxo de caixa no período  $n$  (\$);

Io = Investimento inicial (\$);

T = Tempo (meses ou ano);

Para Moraes et al. (2012), a data que os valores investidos em tecnologias limpas, dentro de uma organização, passam a ser ganhos permanentes, é quando o valor investido no início do projeto se pagou por inteiro, ou seja, houve o retorno de investimento.

## 2.8 SETOR METALMECÂNICO

Há uma grande dificuldade em identificar a definição exata para o setor metalmeccânico. Desta forma, a partir de um estudo chamado Perfil das Indústrias por Estado elaborado pela Confederação Nacional das Indústrias (CNI) em 2013 – últimos dados disponíveis para levantamento estadual - foi considerado como definição deste setor, a soma dos setores de veículos automotores, máquinas e equipamentos, produtos de metal, metalurgia, manutenção e reparação. Assim, a representatividade do setor metalmeccânico em relação à economia brasileira é de 19,9% do PIB industrial, e no Estado do Rio Grande do Sul representa 1,5% do PIB industrial. Isso equivale a uma média de R\$17 milhões para o ano de 2013 (CNI, 2013), ou seja, é um setor industrial impactante para a economia nacional e, ao mesmo tempo, um setor que necessita de cuidados no que tange ao meio ambiente. Em 2014 a produção mundial de aço bruto foi de 1.665 milhões de toneladas, sendo a China o maior produtor de aço no mundo representando 49,3% contra 10,2% para os EUA. O Brasil representa 2% deste montante, produzindo 34,2 milhões de toneladas, o que representou uma diminuição da sua produção em 1% em relação a 2013 (ISSB, 2015).

O ferro e o aço por si só não apresentam ameaça ambiental ao serem dispostos no meio ambiente após o seu uso, mas o que causa grandes impactos ambientais são aspectos ligados à sua extração e produção (DAVIS et al., 2007). Porém, na maioria das vezes esses metais não são descartados após o uso pois, como afirmam os autores, o ambiente competitivo deste setor incentiva a reciclagem desta sucata, gerada tanto nas empresas siderúrgicas como nas de fundição, e também no fim de vida do produto. Os mesmos ainda ressaltam que a sucata

gerada nas indústrias de fundição tem taxas de reciclagem perto de 100%, enquanto que as indústrias fabricantes de bens de consumo que geram sucata metálica durante seus processos tem baixa contaminação e também têm elevadas taxas de reciclagem.

### 2.8.1 Usinagem

Usinagem é a operação de fabricação que remove material com uma ferramenta de corte a fim de obter uma geometria final em determinada peça. O processo de usinagem moderna, assim como os demais processos produtivos, exige redução de custos de produção e o desenvolvimento de tecnologias que resultem em alta qualidade nos produtos finais (FRATILA, 2009). Desta forma, a diminuição do uso de fluido de corte e a reciclagem dos cavacos gerados no processo, além dos benefícios ambientais, resultam em benefícios econômicos para as empresas.

Para Byers (2006), os fluidos de corte são materiais que otimizam o processo de usinagem e sua utilização, e de acordo com Brinksmeier et al. (2015), reduz o atrito entre a ferramenta e a peça influenciando a diminuição do calor nos processos de usinagem. Também são consideradas funções dos fluidos e corte a remoção dos cavacos durante o processo, proteger contra a corrosão, reduzir a potência, prolongar a vida útil da ferramenta e aumentar a produtividade (BYERS, 2006).

Oliveira; Alves (2007) salientam que têm sido estudados fluidos de corte mais eficientes a fim de diminuir os impactos causados à saúde do operador e ao meio ambiente, como degradação do solo e recursos hídricos e também efeitos nocivos à atmosfera. Além dos problemas ambientais e de disposição, a perda de fluido de corte, que acontece por meio de vazamento, vaporização e na saída dos cavacos e retenção em peças da máquina, é prejudicial e custosa financeiramente.

Como alternativa ao uso excessivo de fluidos de corte a base de óleo lubrificante, oriundo do petróleo, Fratila (2009) apresenta a usinagem quase seca (*near-dry machining* – NDM) e a mínima quantidade de lubrificante (MQL). Estes métodos utilizam entre 6 e 100ml de lubrificante por hora de processamento e tem como principais vantagens a geração de cavacos quase limpos, aumento da vida útil da ferramenta, ambiente mais limpo e redução de custo com manutenção da máquina. Como desvantagem têm-se a névoa e a fumaça de fluido de corte geradas durante o uso da mínima quantidade de lubrificante. Estes fatos podem contribuir para aumentar o índice de poluentes em suspensão no ar. Assim, embora o uso de

quantidade mínima de fluido não exija preocupação com o descarte e reciclagem do fluido de corte e do cavaco, é necessário que se tenha um bom sistema de exaustão na máquina.

Somando à busca por um processo de usinagem que impacte negativamente menos o meio ambiente, tem-se a usinagem a seco, que auxilia a empresa a adotar um processo de usinagem mais sustentável, colaborando com a saúde dos funcionários e diminuindo o custo com compra de fluido de corte. Este método de usinagem também ajuda na reciclagem do cavaco, uma vez que este não está contaminado com fluido de corte (CHETAN; GHOSH; RAO, 2015). A máquina para trabalhar com usinagem a seco deve ter um sistema eficiente de transporte dos cavacos. Porém, existem algumas desvantagens, tais como problemas provocados pelas poeiras produzidas pela operação a seco (associadas, por exemplo, à usinagem de ferros fundidos), maior solicitação térmica da peça, provocando um efeito negativo na qualidade final da peça e necessidade de ferramentas especiais.

Chetan; Ghosh; Rao (2015), a partir de sua revisão sobre vários métodos de usinagem mais sustentável, concluem que usinagem a seco, resfriamento criogênico, fluidos a base vegetal, quantidade mínima de lubrificante, resfriamento por gás/ar, lubrificantes sólidos e demais alternativas, são mais estáveis em comparação com o uso de fluido de corte tradicional. Os autores afirmam ainda que estudos ainda são necessários a respeito de aspectos e impactos ambientais destas técnicas alternativas de usinagem.

### **2.8.2 Fusão de Sucata**

Dentre os benefícios da fusão das sucatas está a redução da quantidade de matéria-prima e energia utilizadas na produção, a reutilização e a reciclagem destas matérias-primas e de produtos. Automóveis, geladeiras, vergalhões e demais produtos fabricados com aço, retornam às aciarias após coleta ao final de sua vida útil, para reciclagem e produção de aço novamente. Entre os anos de 2011 e 2015, em média 7% do consumo de matéria-prima para fabricação de aço é de sucata de ferro e aço, representando em média 9,5 milhões de toneladas de sucata de ferro e aço. (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016).

O *Bureau of International Recycling* (BIR) (BIR, 2015) calculou um aumento na utilização de sucata de aço na produção mundial de aço em 2014 de 0,9 por cento em comparação com 2013. Este aumento representou, respectivamente 585 milhões de toneladas de sucata de aço para o ano de 2014 e 580 milhões de toneladas de sucata de aço para o ano anterior. Em 2014 o consumo de sucata de aço aumentou na União Europeia em 1%, na China

por 3%, em 5,1% e no Japão 0,6%. No entanto, o consumo de sucata de aço caiu em 7,3% na Turquia, em 0,3% na Coreia do Sul e em 0,5% na Rússia.

De acordo com Ministério de Minas e Energia (MME) (MME, 2008), as sucatas chegam às usinas de muitas procedências, composições e formatos, podendo estar contaminadas com óleo, plástico, umidade, sujeira, vidro, papéis, areias, pedras, etc. Então, antes de sua fusão em uma siderúrgica ou empresa de fundição, é necessário que sejam beneficiadas por um sucateiro ou triturada. Este beneficiamento traz ganhos à produtividade, pois a sucata mais limpa traz economia de energia e reduz a geração de escória - impureza do metal, além de gases e particulados dependendo da temperatura de fusão da liga da sucata metálica.

Para o MME (2008), além dos ganhos com produtividade e energia, a importância de refundir os metais limpos é que a fusão do metal contaminado gera gases e particulados e as poeiras da escória, que possui elevada quantidade de chumbo na forma de óxidos. Moraes, et al. (2012) ressaltam que o descarte da escória dos fornos de fusão e a emissão atmosférica são um dos principais aspectos ambientais da indústria de fundição. Esta afirmação é refletida com o dado trazido pela PERS (2014) de que os resíduos de escória e outros resíduos metálicos representam 53% da quantidade de resíduo sólido industrial do Estado.

No entanto, Khamis; Lajis; Albert (2015) e Lucci et al. (2015) afirmam que há perdas em todas as fases do processo de reciclagem de cavacos originados no processo de usinagem e contaminados com fluido de corte. Tais como as perdas causadas pela oxidação do metal durante a fusão, algumas perdas com a escória a partir da superfície do material fundido, e os restantes são os restos resultantes de fundição e processamento adicional do lingotamento dos metais.

### **2.8.3 Métodos de Reciclagem**

Embora os cavacos metálicos, gerados no processo de usinagem, em sua maioria sejam reciclados por meio de fundição por empresas do setor metalmeccânico, promovendo assim o fluxo do metal em ciclo fechado, eles são de grande dificuldade de reciclagem por métodos convencionais devido à presença do fluido de corte, superfície contaminada com óxidos, seu pequeno tamanho, etc (FOGAGNOLO et al., 2003). Alguns autores demonstram que processar diretamente os cavacos, através do processo de fundição, resulta em problemas como poluição atmosférica, consumo excessivo de energia, baixo rendimento metálico e

vaporização dos óleos presentes, entre outros. Ainda assim, a fusão de cavacos contendo fluido de corte tem sido utilizada, por exemplo, no caso do alumínio durante a fusão de sucata, como matéria-prima, para produção de lingotes fornecidos à indústria de fundição.

Castro (2010) apresentou um estudo com cavacos de ferro fundido contaminados com óleo solúvel (a base d'água) e integral (óleo puro ou misturado com aditivo) e de alumínio contaminado com óleo solúvel com o objetivo de reincorporar os fluidos de corte ao processo, verificar a aplicabilidade do processo de recuperação dos três resíduos e a valorização do cavaco, deixando limpo e sem aumentar a corrosão. O processo utilizado foi o de centrífuga, com a finalidade de separar e recuperar o óleo de corte dos cavacos alcançando-se a maior eficiência, de 98%, para o ferro fundido contaminado com óleo solúvel, e verificou-se maior rendimento do processo quando os cavacos são curtos. Com a aplicação deste processo de limpeza, evitaram-se as perdas econômicas em função do baixo valor agregado na venda do cavaco contaminado, na reposição do óleo e no maior custo de transporte destes resíduos, que carregam de 10 a 35% da massa a mais do que o necessário, em óleo e água (água no caso do óleo solúvel).

Dutra et al. (2007) desenvolveram um novo processo para limpeza de cavacos contaminados com fluido de corte sem geração de gases tóxicos, onde os princípios do programa de produção mais limpa foram base para minimizar a geração de resíduos e ainda gerar ganhos econômicos no processo desenvolvido, representando economia de quatro vezes em relação a compra do alumínio em placas. O processo deu-se a partir de testes em três líquidos de limpeza, onde se escolheu um reagente químico para remover completamente o óleo impregnado no cavaco de alumínio oriundo do processo de usinagem e, a limpeza do resíduo foi realizada por lavagem, simulando o movimento centrífugo. A total remoção do óleo do alumínio, o alto grau de limpeza do reagente pelo processo de destilação e a usinabilidade do alumínio refundido muito próximo das ligas comerciais comumente utilizadas compõem os resultados obtidos neste processo.

Gronostajski et al. (2002, 2000, 1998) apresentaram estudos sobre um método que envolve a granulação e lavagem de cavacos, compactação a frio, extrusão a quente e tratamento térmico, onde a difusão recíproca de cobre e de alumínio acontece e leva a boas propriedades tribológicas aos compósitos. Este tipo de reciclagem pode ser aplicado não só ao alumínio, mas também para o aço, ao cobre e até mesmo para o ferro fundido. É possível notar a redução de custo com trabalho, energia e a proteção do ambiente, resultado do consumo reduzido de minérios e portadores de energia, nota-se também menos degradação do ambiente natural por

causa da redução da poluição do ar. Por fim, este método é relativamente simples e limita-se à moldagem a frio e extrusão a quente.

Von Hohendorff; Junior (2007) verificaram métodos de separação do fluido de corte de cavacos de latão e ferro fundido, originados no processo de usinagem. Os métodos propostos para extração do fluido de corte para os cavacos de ferro fundido e de latão foram, respectivamente, decantação e centrifugação. A extração no aparelho Soxhlet consiste na retirada do fluido de corte, misturado ao cavaco, através da extração por solvente, neste caso o hexano. A análise do cavaco de ferro fundido decantado apresentou redução em torno de 60% da presença do fluido de corte após a decantação, já o cavaco de latão centrifugado apresentou redução em torno de 90% da presença do fluido de corte após a centrifugação. Comparando-se os dois processos, a centrifugação mostra-se mais eficiente do que a decantação.

Giacaglia; Guimarães (2012) sugeriram o processo de beneficiamento de cavaco de alumínio com o uso de briquetadora, compactando o cavaco bruto gerado a fim de diminuir o espaço ocupado pelo cavaco, o transporte logístico e energia durante a reciclagem e agregando maior valor ao cavaco durante sua venda. Neste processo, após segregar o óleo solúvel do cavaco, iniciou-se o processo de briquetagem e, pode-se concluir que houve redução em torno de 25% no transporte logístico, redução da energia durante a reciclagem do material e economia de 95% de energia em comparação ao que seria utilizado para produzir alumínio primário.

Fu; Matthews; Warner (1998) estudaram dois processos de limpeza dos cavacos metálicos contaminados com fluido de corte. O primeiro teste de limpeza foi realizado através do método de lavagem, utilizando uma técnica de lavagem com agente tensoativo aquoso, porém os resultados não apresentaram remoção de fluido de corte suficiente. A outra técnica de limpeza aplicada pelos autores é por meio da extração de dióxido de carbono supercrítico, que apresentou como resultado a remoção de 80% do fluido de corte. Os autores concluem que foi possível obter cavacos limpos para serem refundidos por produtores de aço, fluidos de corte separados e tratados para serem reinseridos no processo de usinagem e o volume menor de componentes a ser depositado em aterro industrial.

A metodologia apresentada e desenvolvida por Khamis; Lajis; Albert (2015) utiliza a técnica de forjamento a quente dos cavacos de alumínio. Antes do forjamento, todos os cavacos foram limpos por ultrassons utilizando uma solução de banho de acetona e após este banho, secos em forno térmico a 60°C. Os autores concluem que o forjamento a quente poderia ser um processo de reciclagem de resíduos de metal alternativo ao método convencional, sem

utilizar fornos de fundição, consumindo menos energia e contribuindo para uma tecnologia de processo de reciclagem mais sustentável.

Já o estudo apresentado por Lucci et al. (2015) teve o intuito de avaliar a qualidade do lingotamento de magnésio reciclado de várias origens, inclusive de cavacos de usinagem. Antes da fusão, os autores realizaram a limpeza dos cavacos de magnésio através da lavagem com água e detergente, sem especificar o tipo. Como resultado, obtiveram resultados positivos em relação às propriedades químicas e físicas. Outro método de limpeza identificado foi o aplicado por Torkar; Lamut; Millaku (2010) em cavacos de aço. Nesta pesquisa, dois métodos de limpeza dos cavacos foram testados: aquecimento em mufla de laboratório a 400°C e queima dos gases voláteis; e lavagem dos cavacos com solvente orgânico de resíduos, tricloroetileno. Utilizando os dois métodos, foram obtidos cavacos secos e limpos.

A Tabela 12 apresenta resumidamente a relação entre os trabalhos dos autores estudados, os processos de limpeza propostos para que tipo de metal e o grau de limpeza obtido com os processos.

**Tabela 12 – Autores estudados e processos propostos**

<b>Autor</b>	<b>Processo</b>	<b>Metal</b>	<b>Grau de limpeza</b>
Castro (2010)	Centrifugação	Ferro Fundido	98%
Dutra et al. (2007)	Lavagem (solvente)	Alumínio	100%
Gronostajski et al. (2002, 2000, 1998)	Lavagem (água)	Ferro, alumínio, cobre, ferro fundido	Não cita
Von Hohendorff e Junior (2007)	Decantação, centrifugação	Ferro fundido, latão	60%, 90%
Giacaglia e Guimarães (2012)	Segregação + briquetagem	Alumínio	Não cita
Fu, Matthews e Warner (1998)	Lavagem (solvente), aquecimento em alta pressão	Aço	86%
Khamis, Lajis e Albert (2015)	Lavagem (acetona)	Alumínio	Não cita
Lucci et al. (2015)	Lavagem (água + detergente)	Magnésio	Não cita
Torkar, Lamut e Millaku (2010)	Aquecimento em mufla Lavagem (solvente)	Aço	Cavacos limpos

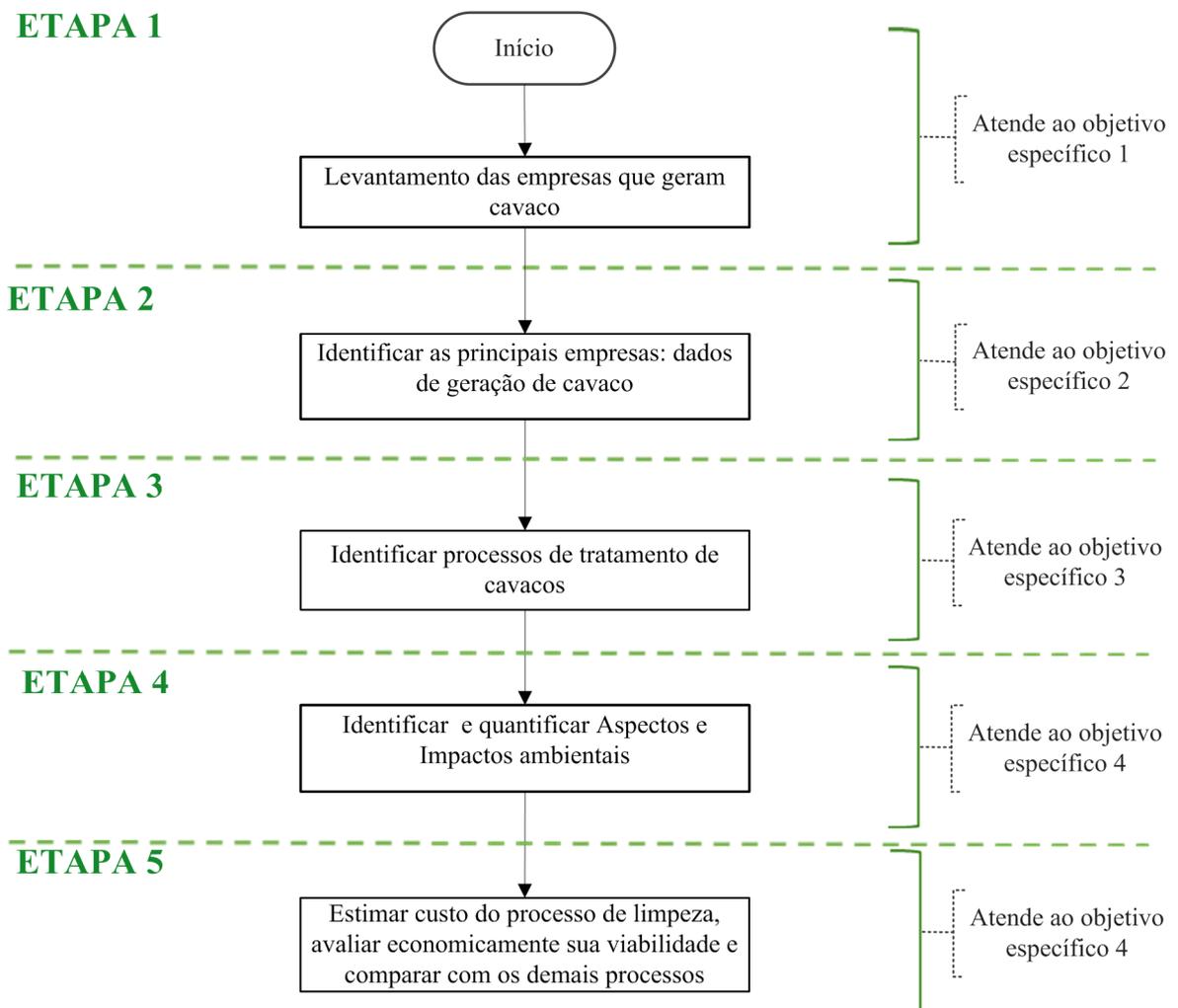
De acordo com os trabalhos apresentados na Tabela 12, pode-se verificar o grau de limpeza dos processos que especificam e que Dutra et al. (2007) é o único trabalho a apresentar 100% de limpeza dos metais. Os autores também esclarecem que o processo de limpeza ocorre em ciclo fechado, ou seja, não gera novos resíduos no processo de limpeza nem emissões atmosféricas. Já o método de Gronostajski et al. (2002, 2000, 1998), por exemplo, não menciona qual destino é dado ao efluente gerado na lavagem dos resíduos. No método apresentado por Fu; Matthews; Warner (1998), Khamis; Lajis; Albert (2015), Lucci et al. (2015), Torkar; Lamut; Millaku (2010) e Von Hohendorff; Junior (2007) que utiliza solvente ou outros

detergentes para realizar a limpeza, também não relata o destino dado aos resíduos gerados neste processo.



### 3 METODOLOGIA

De acordo com Gil (2002), a finalidade de uma pesquisa é responder objetivos propostos por meio de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos. Para Dresch (2013), é importante definir o método de pesquisa a ser utilizado pois auxilia o pesquisador a responder seu problema e apoia, perante a comunidade científica, o reconhecimento de seriedade e validade. De acordo com esta afirmação e com intuito de desenvolver e responder os objetivos propostos, a metodologia será dividida em cinco etapas representadas no fluxograma da Figura 5.



**Figura 5 - Metodologia de pesquisa**

As etapas de pesquisa propostas compreendem diferentes classificações de pesquisa. A primeira etapa tem característica de pesquisa exploratória, visto que tem o intuito de ser o primeiro passo em determinada área que não há conhecimento suficiente (GIL, 2002). Já as etapas 2 e 3 foram identificadas como pesquisa descritiva uma vez que o autor define

como a descrição das características de determinada área de estudo fazendo uso de técnicas padronizadas de levantamento de dados, como o questionário. As etapas de avaliação, compreendidas pela avaliação ambiental (etapa 4) e avaliação ambiental/econômica (etapa 5) se enquadram como pesquisa propositiva. Na quarta etapa será proposto a aplicação de um método já existente de avaliação ambiental e a etapa 5 tem por finalidade de avaliar ambiental e economicamente, simultaneamente, um processo de limpeza de cavaco metálico e comparar economicamente os métodos já empregados em algumas empresas da Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA).

### 3.1 LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

A etapa inicial consiste em um levantamento da situação atual das empresas da Região Metropolitana de Porto Alegre que pertencem ao setor metalmeccânico licenciadas pela FEPAM ou por órgão ambiental municipal, de porte micro, pequeno, médio, grande e excepcional. A opção por empresas licenciadas, indica que estas já possuem algum tipo de responsabilidade ambiental. Para o levantamento da situação atual, inicialmente foi elaborado um ofício (Apêndice A) e enviado à Diretoria Técnica da FEPAM (DIRTEC), e frequentemente monitorado por meio de ligações telefônicas para técnicos responsáveis, estagiários e à chefe do setor de licenciamento ambiental de indústrias.

Após a etapa de escolha de ramos de atividade, e em virtude de não receber as respostas para consulta de dados em tempo hábil, esta etapa foi realizada por meio de uma longa pesquisa de dados realizada diretamente no site da FEPAM, na seção de Licenciamento Ambiental >Licenciamento Ambiental. Realizou-se a combinação de cada um dos 34 municípios da RMPA com os 58 CODRAM selecionados previamente e apresentados no ofício. A etapa seguinte consistiu em procurar na internet, a partir das informações obtidas na etapa anterior, telefone, e-mail ou site das empresas para contato.

A definição do porte das indústrias depende do número de pessoas em ocupação (SEBRAE, 2014), da área útil em m<sup>2</sup> (FEPAM, 2016), ou do faturamento bruto anual (BNDES, [2016?]), conforme apresenta a Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação das indústrias segundo seu porte

Porte	SEBRAE (2014)	FEPAM (2016)	BNDES (2016)
Micro	Até 19 pessoas ocupadas	Até 250 m <sup>2</sup>	Menor ou igual a R\$ 2,4 milhões
Pequeno	De 20 a 99 pessoas ocupadas	De 250,01 a 2000 m <sup>2</sup>	Maior que R\$ 2,4 milhões e menor ou igual a R\$ 16 milhões
Médio	De 100 a 499 pessoas ocupadas	De 2000,01 até 10000 m <sup>2</sup>	Maior que R\$ 16 milhões e menor ou igual a R\$ 90 milhões
Médio-Grande	NA	NA	Maior que R\$ 90 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões
Grande	500 pessoas ocupadas ou mais	De 10000,01 até 40000 m <sup>2</sup>	Maior que R\$ 300 milhões
Excepcional	NA	Demais	NA

NA – Não aplica

Fonte: Sebrae (2014), FEPAM (2016) e BNDES (2016).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a RMPA compreende 34 municípios abrangendo uma área de 10.234,012 km<sup>2</sup> e cerca de 4 milhões de habitantes. Esta região acolhe grandes e importantes empresas, tornando-se área estratégica para o desenvolvimento do estado e justificando a escolha desta região para análise. A Figura 6 mostra a área compreendida pela RMPA em verde, junto ao mapa do estado do Rio Grande do Sul e da América do Sul elaborado pelo software ArcGIS.

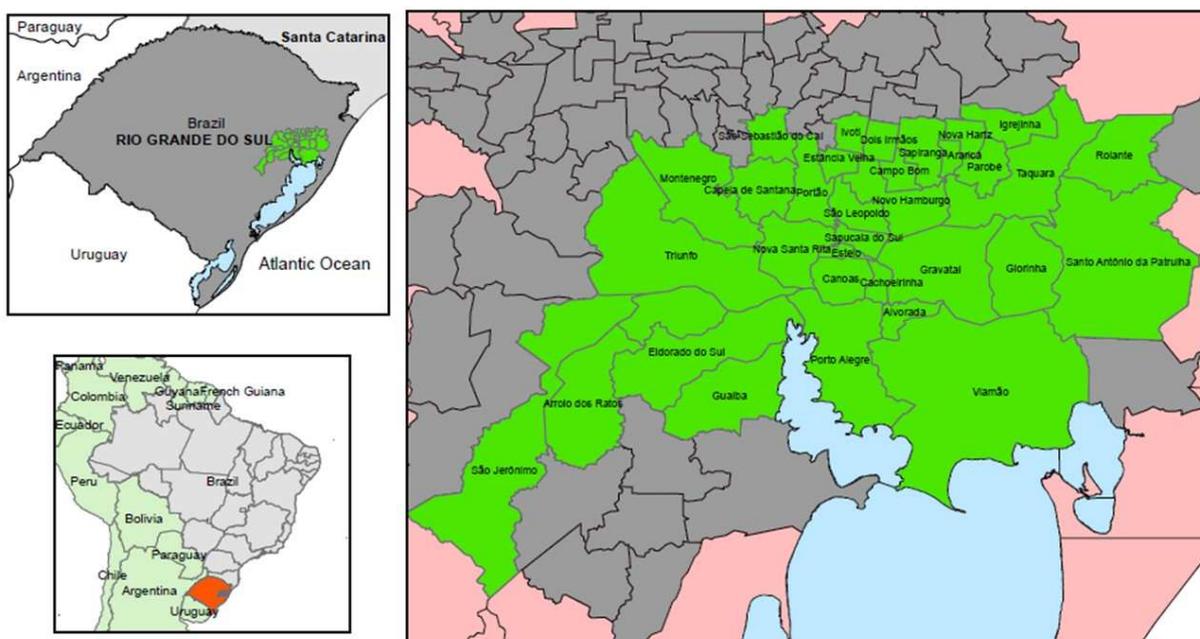


Figura 6– Região Metropolitana de Porto Alegre

A partir da listagem das empresas do setor metalmeccânico licenciadas pela FEPAM de micro, pequeno, médio, grande e excepcional porte, foi verificada a quantidade total de empresas e, dentre estas, quais empresas possuem processo de usinagem e seus respectivos

dados de geração de resíduos metálicos. Depois da identificação das empresas que usinam metais, foi diagnosticado quais processos de usinagem são mais utilizados na região e quais, entre estas, fazem algum tipo de limpeza nos cavacos depois do processo produtivo que o gerou. Ao mesmo tempo realizou-se a identificação de empresas que fazem algum tipo de reciclagem de cavaco, tal como fundir ou revender para a empresa que o recicle.

A identificação destas características de geração, limpeza e reciclagem do resíduo foi realizada através de um questionário (Apêndice B) tipo exploratório quali-quantitativo, onde alguns exemplos de questionamentos estão apresentados na Tabela 14. O tipo de abordagem quantitativa tem suas unidades de análise claramente definidas, não necessitando de hipóteses de pesquisa, de representatividade da amostra e não exigindo mínima taxa de retorno. Todavia os questionários têm, em média, 25% de taxa de retorno. Desta forma os critérios de seleção de amostra são por aproximação e o tamanho da amostra precisa ser suficiente para incluir parte do fenômeno de interesse (FORZA, 2002; MARCONI; LAKATOS, 2010).

**Tabela 14 – Exemplos de questionamento para a *survey* exploratória**

<b>Tema</b>	<b>Pergunta</b>
Dados gerais mais gestão	Qual o nome, razão social e o porte da empresa?
	Atende que tipos de mercado?
	Quais são os principais clientes? Quais municípios?
	Quais são os principais fornecedores? Quais municípios?
	Possui algum programa ambiental aplicada?
Processo produtivo	Quais materiais metálicos utilizados nos processos de usinagem?
	Qual tipo de fluido de corte utilizado?
	Há segregação dos resíduos gerados na empresa?
	Qual a quantidade de cavacos metálicos gerados (por tipo de material)?
	Qual a destinação e custo da destinação dos cavacos metálicos contaminados com fluido de corte?
	Há algum tipo de reutilização dos cavacos metálicos dentro da própria empresa?

O questionário foi dividido em três etapas, onde a primeira indagou questões de conhecimento geral da empresa contemplando 12 perguntas. A segunda parte, com 5 perguntas, diz respeito aos dados de mercado que a empresa atende e sua produção. Já a terceira e mais abrangente etapa abordou dados do processo de usinagem, de práticas de limpeza dos cavacos metálicos e de processos de reutilização dos cavacos metálicos através de 11 questionamentos.

### 3.2 PROCESSOS DE SEGREGAÇÃO DOS CAVACOS METÁLICOS

O levantamento de dados dos processos de segregação dos cavacos metálicos atualmente empregados nas empresas do setor metalmeccânico que possuem processos de usinagem foi realizado por meio de pesquisa exploratória utilizando o questionário disponível no Apêndice B. Após ter posse dos dados, foram escolhidas algumas empresas estratégicas,

levando-se em consideração acessibilidade, nível de contato com responsável pela área ambiental e principalmente a disponibilidade para colaborar com o projeto, a fim de verificar *in loco* os processos de segregação previamente relatados.

Este item teve como objetivo apresentar as empresas visitadas, verificar se elas possuíam processo de segregação e limpeza dos cavacos metálicos e, em caso afirmativo, como estes processos são realizados. As empresas foram descritas inicialmente conforme dados gerais, metais que são usinados e os respectivos processos de segregação e limpeza e como estes cavacos são armazenados após estes processos.

### 3.3 MAPEAMENTO DAS ROTAS DE RECICLAGEM

Esta etapa teve como objetivo verificar a distância das empresas que geram e que e dos prestadores de serviços ambientais (PSAs) que reciclam ou dispõem os resíduos. Esta distância entre a empresa geradora e a empresa recicladora/aterro industrial pode influenciar na avaliação ambiental e econômica do processo. Após este levantamento, foi elaborado um mapeamento geográfico através do *Google Earth* destacando as possíveis relações simbióticas entre outras empresas na RMPA e fora dela.

### 3.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A avaliação ambiental dos processos de segregação e reciclagem de cavacos metálicos contaminados com fluido de corte identificados nas etapas anteriores, assim como a comparação com o método proposto por Dutra et al. (2007) e avaliado por Moraes, Simon e Vargas (2015), foi realizada por meio da metodologia para avaliação de aspectos e impactos ambientais.

#### 3.4.1 Avaliação Qualitativa dos Aspectos e Impactos Ambientais

A metodologia utilizada pelo Sistema de Gestão Ambiental da Unisinos (SGA UNISINOS, 2015) foi adaptada e utilizada para a avaliação de aspectos e impactos ambientais deste estudo, uma vez que esta metodologia atende aos itens 4.3.1. Aspectos Ambientais estabelecidos na NBR ISO 14001 (ANBT, 2015).

Os aspectos ambientais foram identificados nas etapas de: usinagem; do processo de separação do fluido de corte dos cavacos metálicos – exceto os casos de usinagem a seco; de armazenamento deste resíduo e; transporte da empresa geradora até o PSA. Os respectivos

impactos ambientais foram classificados através dos parâmetros estabelecidos pelo SGA UNISINOS (2015) em concordância com a NBR ISO 14001 (ABNT, 2015) de frequência, abrangência, severidade e significância. Além destes, também foi considerado a classe do impacto, se ele é adverso ou benéfico ao meio ambiente, e a destinação dos resíduos de cada etapa estudada na avaliação. Para Rigon (2013), é exigida atenção na fase de levantamento e avaliação de aspectos e impactos ambientais de uma organização a fim de verificar sua abrangência e se podem ser avaliados de forma independente.

O levantamento foi realizado considerando as etapas de entradas e saídas dos processos avaliados em cada empresa, conforme definição prévia. Um diagrama de blocos em forma de fluxograma de processo único foi elaborado para ilustrar os processos produtivos das empresas com as entradas e saídas, desde o processo de usinagem até o transporte dos resíduos aos PSA.

O resultado da avaliação de aspectos e impactos ambientais destes processos foi representado em forma de tabela, apresentando: as empresas analisadas; seus respectivos processos de usinagem e gestão dos cavacos metálicos e fluido de corte em etapas; aspecto ambiental; impacto ambiental associado; classe; frequência; abrangência; severidade; soma das pontuações (impacto); significância e; destinação. A seguir apresenta-se a Tabela 15 utilizada para apresentar o resultado da avaliação.

**Tabela 15 – Resultados da Avaliação de Aspectos e Impactos Ambientais**

<b>Empresa</b>	<b>Atividade</b>	<b>Asp.</b>	<b>Imp.</b>	<b>Classe</b>	<b>Freq.</b>	<b>Abrang.</b>	<b>Sev.</b>	<b>Imp.</b>	<b>Signif.</b>
----------------	------------------	-------------	-------------	---------------	--------------	----------------	-------------	-------------	----------------

Fonte: Adaptado de SGA UNISINOS (2015).

A fim de evitar respostas tendenciosas, a avaliação de aspectos e impactos ambientais aconteceu com uma equipe multidisciplinar e, diante dos resultados de cada avaliador, validou-se os resultados.

Também serão consideradas na avaliação, além das empresas do setor que geram os resíduos, as empresas que fazem algum tipo de gerenciamento do resíduo, seja para fundir ou fazer o descarte e as empresas que intermediam o envio para fusão em outro estabelecimento. A Tabela 16 apresenta dados de Moraes; Simon; Vargas (2015) de três empresas preliminarmente analisadas e de um método de limpeza estudado na literatura. As empresas foram contextualizadas dentro da proposta apresentada por Lutkemeyer (2014) na Tabela 10 onde elementos foram identificados e classificados com as abordagens ecoeficientes e

ecofetivas. Este estudo serve de exemplo para o que será considerado para avaliação do posicionamento ambiental das diferentes empresas avaliadas na dissertação.

**Tabela 16 – Identificação dos elementos de ecoeficiência e ecoefetividade**

ELEMENTO	ESPERADO	OBSERVADO		
	Dutra et al. (2007)	Empresa A	Empresa B	Empresa C
ORIENTAÇÃO	Ecoefetivo	Ecoeficiente	Ecoeficiente	Ecoeficiente
PARADIGMA	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoeficiente
PRESSUPOSTOS	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoeficiente
INOVAÇÃO	Ecoefetivo	Ecoeficiente	Ecoeficiente	Ecoeficiente
VISÃO DE NEGÓCIOS	Ecoefetivo	Ecoeficiente	Ecoeficiente	-

Fonte: Moraes; Simon; Vargas (2015).

Diante dos dados apresentados após a avaliação dos aspectos e impactos ambientais será possível realizar o fechamento para investigar o grau de posicionamento ambiental de cada empresa analisada.

### **3.4.2 Avaliação Quantitativa do Aspecto Ambiental Geração de Emissões Atmosféricas no Transporte**

Após avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais, escolheu-se a etapa de transporte para análise quantitativa. A escolha por somente esta etapa para analisar quantitativamente deu-se pelo fato de ser a única etapa que se diferencia entre as empresas visitadas, visto que elas são de diferentes municípios e seus resíduos são recolhidos por diferentes PSAs de municípios variados.

Para a quantificação do transporte, foi utilizado como referência o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (BRASIL, 2011). O documento categoriza a frota de veículos por tipo de combustível utilizado, por idade ou geração tecnológica, por tipo de aplicação (transporte de cargas ou passageiros) e por sua capacidade ou porte. Jacondino (2005) ressalta que fatores tecnológicos, de desgaste e manutenção, operacionais e ambientais são fatores que influenciam no nível das emissões veiculares. A Tabela 17 apresenta a categorização do transporte por caminhões, de interesse à pesquisa. A categoria definida para o estudo, considerando as características dos cenários, foi a de caminhões pesados, destinados ao transporte de cargas, com carroceria e Peso Bruto Total (PBT) maiores que 15 t.

**Tabela 17 – Frota de caminhões considerada - categoria**

<b>Categoria</b>	<b>Combustível</b>	<b>Definição</b>
Caminhões leves (3,5t < PBT < 10t)	Diesel	Veículo automotor destinado ao transporte de carga com carroceria e PBT superior a 3500kg
Caminhões médios (10t ≤ PBT < 15t)		
Caminhões pesados (PBT ≥ 15t)		

Fonte: Brasil (2011).

Foi considerado a sétima fase (P7) do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) (CONAMA, 2008) para a determinação dos fatores de emissão para motores a diesel, a qual prevê uma diminuição significativa nos níveis de emissões permitidos para a linha de veículos pesados produzidos a partir de 1º de janeiro de 2012. Criado em 1986 pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o Proconve prevê forma de controle da qualidade do ar e a redução dos níveis de emissões permitidas pelo programa e vem sendo implantada gradativamente através de suas fases.

Para o cálculo de quantificação das emissões da atividade de transporte dos cavacos metálicos foi utilizada a Equação 3 (RIGON, 2015). As substâncias consideradas para o cálculo das emissões de Dióxido de Carbono equivalente (CO<sub>2eq</sub>) foram o Monóxido de Carbono (CO) e Óxidos de Nitrogênio (NO<sub>x</sub>) de acordo com valores para os fatores de emissão pré-estabelecidos (BRASIL, 2011).

$$\text{Emissões CO}_{2\text{eq}} \text{ transporte} = ((\text{FCO} * \text{CO}_{2\text{EqCO}}) + (\text{FNO}_x * \text{CO}_{2\text{EqNO}_x})) * D$$

**Equação 3**

Onde:

F=Fator de emissão da substância (kg/km)

CO<sub>2eq</sub> = CO<sub>2eq</sub> da substância

D = distância (km)

### 3.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Esta etapa da pesquisa teve como objetivo analisar economicamente os processos de limpeza e reciclagem dos cavacos metálicos das empresas utilizando os indicadores financeiros de VPL (SOBRAL, 2010) e *Payback* (WOTTRICH, 2010). Foi realizada a avaliação do custo dos processos de limpeza escolhidos nas etapas anteriores, incluindo o método proposto por Dutra et al. (2007) e abordado por Moraes; Simon; Vargas (2015), fazendo a comparação de qual deles é economicamente mais rentável. Dutra et al. (2007) fizeram uma estimativa do preço de um torno CNC mais o processo de limpeza com briquetagem dos cavacos a fim de calcular os custos de implementação do equipamento. Os resultados da

avaliação econômica também serviram como base para avaliar a viabilidade de manter os procedimentos atuais em relação à limpeza e reciclagem dos cavacos metálicos contaminados com fluido de corte ou de empregar outro tipo de prática, até mesmo mantendo as práticas já usuais de cada empresa, a fim de reciclar este resíduo.

Nesta pesquisa, assim como na proposta apresentada por Lima (2010), não se considerou custos trabalhistas e custos de serviços públicos, uma vez que estes dados são de difícil acesso e não atendem ao objetivo deste estudo. A avaliação econômica, foi realizada por meio dos indicadores de Valor Presente Líquido (SOBRAL, 2012), *Payback* e Retorno sobre o Investimento (WOTTRICH, 2010). Os resultados, expressos em forma de tabelas, especificam estes indicadores e em quanto tempo o investimento será amortizado. Neste caso foram considerados valores que a empresa lucra ou gasta com a venda ou descarte da matéria-prima e os custos com a compra da matéria-prima e demais custos do processo de usinagem.



## 4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir da metodologia utilizada, foi possível a obtenção dos resultados apresentados a seguir.

### 4.1 LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

Pelo fato da FEPAM, até o fechamento desta dissertação, não conseguir repassar os dados solicitados, o processo de obtenção dos resultados tornou-se limitado em relação à listagem de empresas do setor metalmeccânico que gerem cavacos metálicos como resíduo. Devido ao fato de não haver definição do setor metalmeccânico, assim como as indústrias que pertencem este setor, este estudo considerou as atividades industriais de metalurgia básica, de indústrias diversas e de indústria mecânica. Dentro destas atividades industriais escolhidas, foram selecionados os ramos de atividade e os respectivos códigos (CODRAM) de empresas que pudessem ter algum processo de usinagem, a fim de promover a coleta de dados via web, resultando na soma de 58 códigos de ramos de atividade, como pode ser observado no Apêndice A. Como resultado da etapa obteve-se uma listagem de razão social, CNPJ, atividade detalhe, porte (de acordo com a área útil em m<sup>2</sup>), potencial poluidor e endereço de 1404 empresas.

Do total de empresas encontradas, não foi possível localizar 404, muitas vezes pelo motivo da razão social ser o nome do proprietário e não possuir outro tipo de informação na internet, portanto, obteve-se um novo total de 1000 empresas. Diante do novo total de 1000 empresas, partiu-se então para o envio de e-mails a todos os endereços eletrônicos encontrados na internet e ligação telefônica para as que não possuíam e-mail disponível. Como resultado das ligações às empresas cujos e-mails não foram encontrados via web e desconsiderando empresas cujo número de telefone não existe ou apresentou um número de telefone equivocado, obteve-se um novo total de 587 empresas válidas para a pesquisa. Ou seja, o número de empresas a serem contatadas reduziu-se a praticamente três vezes do número encontrado no site da FEPAM. A Tabela 18 apresenta os resultados iniciais obtidos através do site da FEPAM, das pesquisas realizadas via web e das ligações telefônicas.

**Tabela 18 – Resultado do primeiro levantamento de dados no site da FEPAM e na internet**

SITUAÇÃO	NÚMERO DE EMPRESAS
Total de empresas encontradas no site da FEPAM	1404
Total de empresas com telefone/site/e-mail disponível na internet	1000
Total de empresas válidas para enviar o questionário	587

A partir das 587 empresas levantadas para contatar e enviar o questionário (Apêndice B), foi identificado, através de contato telefônico, que 17 destas empresas fecharam, mesmo que seus dados ainda estivessem disponíveis no site da FEPAM. Das 571 empresas restantes, 305 foram contatadas, e após explicado o objetivo da pesquisa, lhes foi solicitado o e-mail para envio do questionário. É importante lembrar, que a quinta pergunta do questionário, após dados básicos de identificação é se a empresa possui processo de usinagem e, em caso de resposta negativa, o questionário termina nesta questão. De posse desta consideração, no momento da ligação às empresas para solicitar endereço eletrônico, já foi questionado se elas possuíam processo de usinagem. Para as que não possuíam este processo, o questionário foi respondido manualmente pelo entrevistador. Desta forma tem-se o número de 172 questionários respondidos manualmente. A Tabela 19 apresenta estes dados de forma clara.

**Tabela 19 – Resultado dos contatos telefônicos com as empresas identificadas**

<b>SITUAÇÃO DAS EMPRESAS</b>	<b>NÚMERO DE EMPRESAS</b>	
Empresas válidas	587	
Empresas que fecharam	17	
Empresas contatadas por via telefônica	305	172 não têm usinagem
		133 têm usinagem
Empresas que receberam ligação e não quiseram participar	6	
Empresas contatadas via e-mail encontrado na internet	265	
Empresas que receberam e-mail para responder o questionário	392	(265+133-6)

Para as 133 empresas que receberam ligação explicando a pesquisa e que possuem processo de usinagem, duas delas não possuíam e-mail e não quiseram responder por telefone ou em visita à planta e outras quatro não tiveram interesse em participar. Somando as 127 (133-6) empresas que disponibilizaram o e-mail via contato telefônico com as outras 265 que o e-mail foi encontrado em busca via web, enviou-se e-mail para estas 392 empresas introduzindo o projeto e os objetivos da pesquisa e com o questionário em anexo e com link para o *google docs*, de forma que o respondente poderia escolher a forma mais adequada para responder.

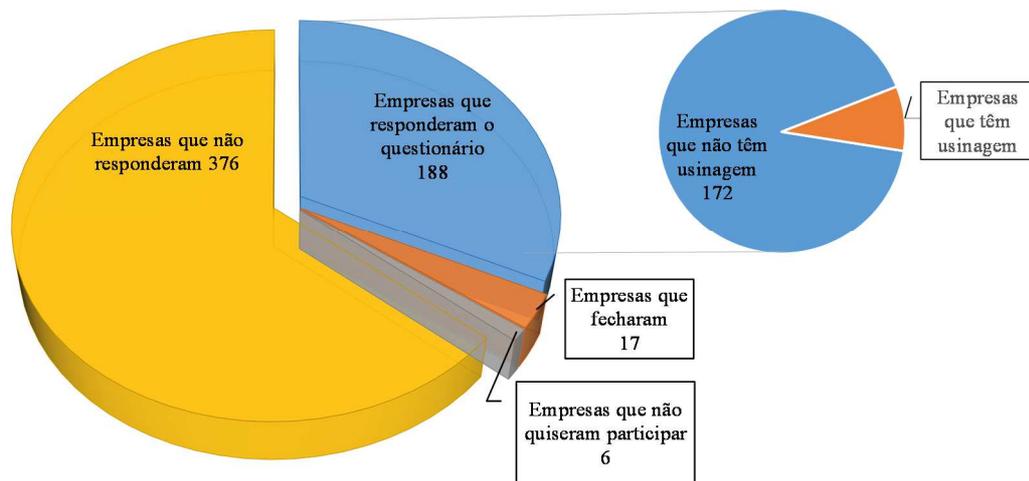
Após o envio dos e-mails às 392 empresas, constatou-se que nove e-mails retornaram, duas empresas responderam informando que não poderiam participar da pesquisa, 16 responderam o e-mail e o questionário, uma empresa respondeu solicitando visita à sua planta para fazer o questionário *in loco*. Entre as 394 empresas restantes, 103 no momento do contato telefônico afirmaram que participariam da pesquisa respondendo o questionário e mesmo assim acabaram não respondendo e o montante de 261 empresas restantes, que são empresas cujo e-mail foi encontrado via web, não responderam. Ou seja, dos 265 contatos de

empresas encontramos e apresentados anteriormente, apenas 4 responderam ao questionário sem fazer contato telefônico. Estes resultados são apresentados na Tabela 20 de forma sintetizada.

**Tabela 20 – Resultado do número total de empresas válidas para a pesquisa**

RETORNO DAS EMPRESAS	NÚMERO DE EMPRESAS
Empresas que receberam e-mail	392
E-mails que retornaram	9
Empresas que responderam que não participariam	2
Empresas que responderam o e-mail e o questionário	16
Empresas que o questionário foi respondido <i>in loco</i>	1
Empresas que não responderam e-mail e questionário mesmo com contato telefônico	103
Empresas que não responderam ao e-mail e ao questionário que não possuem contato telefônico	261

Levando-se em consideração os resultados apresentados, obtém-se o valor total de 189 empresas que responderam os questionários, sendo que uma delas possui duas plantas produtivas em dois municípios diferentes e ambas com processo de usinagem. Então, como mostra a Figura 7, esta pesquisa contou com o total de 188 questionários respondidos de um total de 564 empresas. Este número é representado pelas 587 empresas válidas subtraído do total de 17 empresas que fecharam e do total de 6 empresas que não quiseram participar, conforme apresenta a Tabela 19.



**Figura 7 - Resultado do envio do e-mail às empresas**

De acordo com a afirmação de Marcozi; Lakatos (2010), de que os questionários têm, em média, 25% de taxa de retorno, este método de pesquisa com questionário pode ser validado, visto que 188 questionários respondidos de um total de 564, representam 33,33% de taxa de retorno.

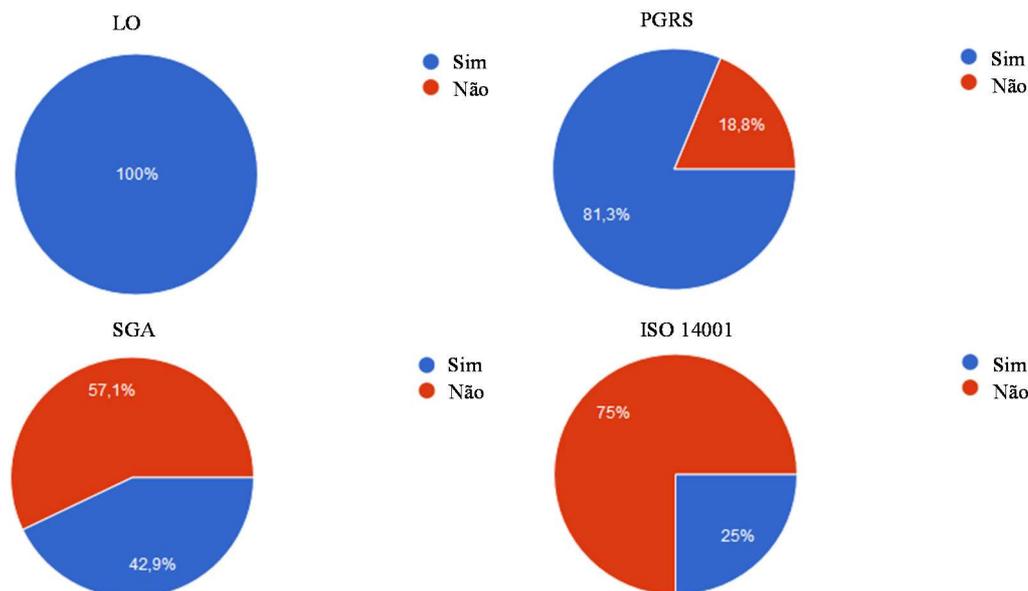
#### **4.1.1 Resultados dos Questionários Respondidos das Empresas com Usinagem**

Dos 188 questionários respondidos, 172 foram de empresas que não possuem processo de usinagem (91,5% do total dos questionários respondidos) e por isso não serão detalhadas neste item, visto que não faz parte dos objetivos propostos. Os outros 8,5% do total dos questionários respondidos representam 16 empresas e 17 unidades fabris (plantas) somando dez municípios, conforme mostra a Tabela 21.

Tabela 21 – Número de empresas levantadas por município

Município	Número de empresas levantadas participantes	Número total de empresas que responderam o questionário	Média porcentagem de resposta por município	Número de empresas que respondeu o questionário com usinagem
Alvorada	21	10	48%	0
Araricá	3	2	67%	0
Arroio dos Ratos	2	0	0%	0
Cachoeirinha	38	14	37%	0
Campo Bom	39	3	8%	0
Canoas	52	19	36%	0
Capela de Santana	3	0	0%	0
Charqueadas	9	2	22%	1
Dois Irmãos	4	3	75%	0
Eldorado	7	1	14%	0
Estância Velha	12	4	33%	0
Esteio	18	6	33%	1
Glorinha	2	0	0%	0
Gravataí	47	17	36%	1
Guaíba	11	4	36%	0
Igrejinha	5	4	80%	2
Ivoti	1	1	100%	0
Montenegro	8	2	25%	0
Nova Hartz	1	0	0%	0
Nova Santa Rita	9	6	67%	0
Novo Hamburgo	65	19	29%	3
Parobé	7	3	43%	0
Portão	8	3	37%	0
Porto Alegre	53	16	30%	1
Rolante	2	2	100%	0
Santo Antônio da Patrulha	10	3	30%	1
São Jerônimo	1	1	100%	0
São Leopoldo	54	15	28%	4
São Sebastião do Caí	6	1	17%	0
Sapiranga	17	7	41%	1
Sapucaia do Sul	21	7	33%	2
Taquara	7	3	43%	0
Triunfo	5	1	20%	0
Viamão	16	10	62%	0
TOTAL MUNICÍPIOS	564	189	34%	17
TOTAL QUESTIONÁRIOS RESPONDIDOS	-	188	33%	16

Dos 16 questionários respondidos por empresas que possuem usinagem, a Figura 8 mostra que todas as empresas afirmaram possuir Licença Ambiental de Operação (LO), porém 3 (19%) delas não possuem Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e mais da metade (58%) não possui Sistema de Gestão Ambiental (SGA).



**Figura 8 – Porcentagem de empresas que possuem LO, PGRS, SGA e ISO 14001**

A ausência de SGA pode ser explicada pelo fato de 12 empresas (75%) não possuírem ISO 14001. A Tabela 22 expõe todos os resultados da primeira de três etapas do questionário, que pesquisou questões de conhecimento geral da empresa através de 12 perguntas.

**Tabela 22 – Resultados dos dados gerais obtidos a partir da primeira etapa do questionário**

Critério		Resposta total empresas	Porcentagem baseada em cada critério (%)
Número de funcionários	≤ 19 funcionários	9	53,6
	≤ 20 funcionários ≤ 99	3	18,8
	≤ 100 funcionários ≤ 499	1	6,3
	≥ 500 funcionários	3	18,8
Receita bruta anual (R\$) em milhões	≤ 2,4 R\$	8	53,3
	< 2,4 R\$ ≤ 16	3	20
	< 16 R\$ ≤ 90	2	13,3
	< 90 R\$ ≤ 300	1	6,7
	>300 R\$	1	6,7
Área útil (m <sup>2</sup> )	≤ 250 m <sup>2</sup>	4	26,7
	≤ 250,01 m <sup>2</sup> ≤ 2000	6	40
	≤ 2000,01 m <sup>2</sup> ≤ 10000	1	6,7
	≤ 10000,01 m <sup>2</sup> ≤ 40000	1	6,7
	> 40000 m <sup>2</sup>	3	20
Licença Ambiental de Operação	Sim	16	100
	Não	0	0
Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos	Sim	13	81,3
	Não	3	18,8
Sistema de Gestão Ambiental	Sim	8	57,1
	Não	6	42,9
ISO 14001	Sim	12	75
	Não	4	25

Sobre a questão se a empresa possui Sistema de Gestão Ambiental, duas empresas omitiram a resposta, o que pode ser explicado pelo fato de não saberem do que se trata ou como caracterizar um SGA. Os critérios número de funcionários, receita bruta anual e área útil (m<sup>2</sup>) são utilizados para mensurar o porte das empresas de acordo com o Sebrae (2014), BNDES (2016) e FEPAM (2016), respectivamente. Diante destes três parâmetros, para este estudo foi calculada a média dos mesmos e classificado o porte das empresas. Sendo assim, o estudo conclui que das 15 empresas que responderam estas perguntas, apenas quatro se enquadram nos três critérios como microempresas e duas delas como pequenas empresas.

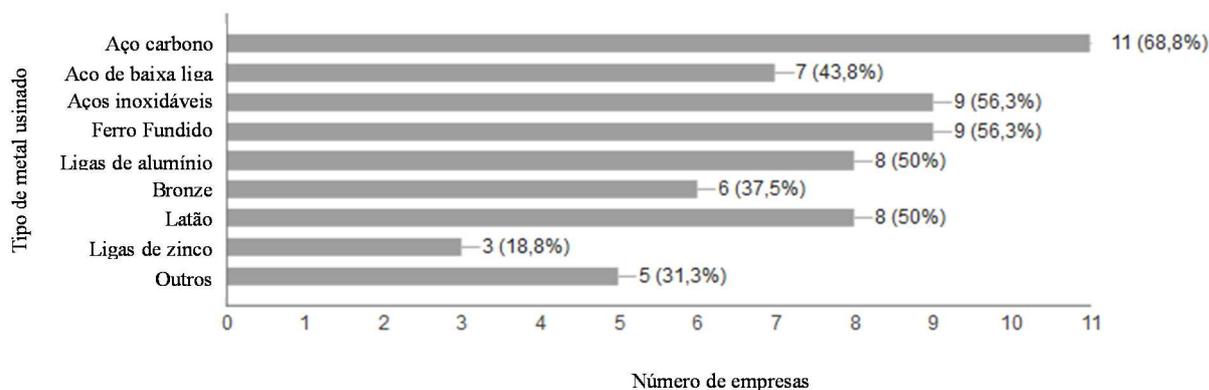
Sete empresas diferenciam seu porte entre os três critérios somente pela área útil, categoria estipulada pela FEPAM (2016), ou seja, para estas empresas o porte estipulado pelo número de funcionários e receita bruta anual são iguais. Uma empresa é caracterizada como média em relação ao número de funcionários, mas neste estudo foi enquadrada como pequena de acordo com os outros dois critérios. Em apenas uma empresa houve grande diferença entre os critérios, onde sua área útil é maior que 40000m<sup>2</sup>, porém atualmente está atuando com menos de 19 funcionários e a receita bruta anual varia entre R\$ 2,4 milhões e R\$ 16 milhões. Esta confirmação pode ser justificada pelo atual momento da economia do país levando a empresa a reduzir significativamente seu número de funcionários.

As empresas estudadas atendem aos mais variados setores, tais como agrícola, armamentos, automotivo, automação industrial, construção civil, coureiro calçadista, curtumes, manutenção mecânica, setor energético e têxtil. A segunda parte do questionário abrange 5 perguntas sobre os dados de mercado que a empresa atende e sua produção e o resumo das respostas pode ser observado na Tabela 23.

Tabela 23 - Resultados dos dados de gestão e produção

Pergunta	Resposta total empresas	
Qual o segmento de mercado da empresa?	Agrícola	5
	Automotivo	3
	Coureiro calçadista	6
	Construção civil	3
	Indústrias metalúrgicas	4
	Setor energético	2
	Têxtil	2
Quais materiais são usinados?	Aço carbono	11
	Aço baixa liga	7
	Aço inoxidável	9
	Ferro fundido	9
	Ligas de alumínio	8
	Bronze	6
	Latão	8
	Ligas de zinco	3
	Outro	5
Quais municípios são os principais fornecedores de matéria-prima?	≤ 50 km	20
	50 < km ≤ 100	19
	> 100 km	7
Clientes retornam produto (logística reversa)?	Sim	5
	Não	11
	Outro	5

Pode-se perceber que entre os metais usinados pelas empresas respondentes, os aços carbono, baixa liga e inoxidáveis são os mais usinados, seguindo pelo ferro fundido e pelas ligas de alumínio. Bronze, latão e ligas de zinco também são usinados por algumas empresas e, algumas ainda se enquadram na categoria outros, que na maioria dos casos é a usinagem de *nylon* (material polimérico). A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa estas informações com os tipos de materiais usinados, a quantidade de empresas respondentes que os usinam e a respectiva porcentagem em relação às demais empresas respondentes. Algumas empresas usinam mais de um tipo de liga metálica, sendo a porcentagem um indicativo de quantos por cento das empresas usinam determinada liga metálica.



Considerando que as empresas usinam mais de um tipo de liga metálica e em alguns casos estas matérias-primas vêm de diferentes fornecedores, foi possível constatar que 20

empresas têm seus fornecedores deste material em uma distância de até 50 km. Outras 19 empresas têm seus fornecedores localizados no Estado do Rio Grande do Sul, mas instalados em um raio de 51 km até 100 km. Apenas 7 empresas localizaram seus fornecedores fora do estado e, algumas vezes, fora do Brasil. Ou seja, 46% dos fornecedores identificados nas empresas estão localizados a uma distância de até 50 km, o que indica que, considerando o tipo de transporte rodoviário, as empresas que têm seus fornecedores localizados a uma distância de até 50 km utilizam menos combustível, emitem menos poluentes atmosféricos e tendem a ter menor impacto ambiental negativo em relação às demais (JACONDINO, 2005).

A Tabela 24 apresenta as respostas da terceira e mais abrangente etapa do questionário, que mostra dados do processo de usinagem, de práticas de limpeza dos cavacos metálicos e de processos de reciclagem dos cavacos metálicos através de 11 questões. Diante dos dados apresentados, é possível observar que apenas uma empresa possui o processo de usinagem totalmente a seco. Este dado pode ser justificado pelo fato desta empresa utilizar apenas tornos mecânicos manuais para pequenos reparos nas peças utilizadas na empresa. Como comprovação tem-se a informação de que esta empresa gera apenas 0,3t de cavacos metálicos secos por mês, valor inferior à média de 25t/mês de todas as empresas participantes do estudo com processo de usinagem e que contribuíram com informações.

Para as empresas que utilizam processo de usinagem a úmido, os tipos de fluido de corte são os mais diversificados e como exemplo tem-se fluido biolubrificante, sintético e semissintético, leite de magnésio, banha de porco e álcool. Notou-se positivamente que 60% das empresas utilizam a mínima quantidade de fluido de corte nos seus processos de usinagem, evitando assim o desperdício deste insumo. Outro aspecto positivo é que mais da metade das empresas utilizam equipamentos de usinagem com precisão, otimizando este processo e também cuidam para não contaminar o fluido de corte que pode ser reciclado por determinado tempo antes do descarte para rerrefino.

Tabela 24 - Resultados dos dados do processo de usinagem

Pergunta		Resposta total empresas	Porcentagem baseada em cada pergunta (%)
Processo a seco ou a úmido?	Seco	1	6,3
	Úmido	3	18,8
	Ambos	12	75
Caso seja a úmido, qual tipo de fluido de corte?	As empresas utilizam diversos fluídos, tais como BD-90 Bondmann, fluido de corte sintético e semissintético, fluido de refrigeração, óleo específico, leite de magnésio, banha de porco, fluido solúvel sintético biodegradável, óleo sintético diluído em água, óleo sintético a base d'água, óleo refrigerante 68 e álcool.		
Busca melhorias no processo para reduzir na fonte desperdício de materiais?	Utiliza mínima quantidade de resíduo	9	60
	Equipamentos que façam a usinagem com maior precisão evitando o sobremetal	8	53,3
	Toma cuidados para evitar a contaminação do fluido de corte, tais como: limpeza da máquina; remoção de vazamentos que podem contaminar com óleo lubrificante da máquina; coleta os cavacos em bandejas ou outras medidas para não gerar resíduos de varrição	10	66,7
	Outro	2	13,3
Possui processo de segregação entre o cavaco e o fluido de corte após processo de usinagem?	Sim	11	78,6
	Não	3	21,4
Como é o processo de segregação?	Filtragem	2	16,7
	Centrifugação	0	0
	Separação por gravidade (tipo escoamento em plano inclinado)	10	83,3
	Outro	2	16,7
Os cavacos de diferentes ligas são acondicionados separadamente?	Sim	12	75
	Não	3	18,8
	Outro	3	18,8
Qual a gestão do fluido de corte total (retirado do equipamento mais segregado)?	Recupera e recicla internamente	5	33,3
	Envia para rerrefino	6	40
	Envia para descarte em aterro industrial	2	13,3
	Evaporação a vácuo	1	6,7
	Ultrafiltração	1	6,7
	Outro	1	6,7
	Aterro industrial	0	0
Qual a destinação final dada aos cavacos pela empresa?	Empresa de comercialização de sucatas	10	62,5
	Empresa que funde o material para uso próprio	5	31,3
	Empresa que funde o material para revenda como matéria prima	8	50
	Outro	2	12,5
Se o cavaco serve como matéria-prima:	O metal retorna como matéria-prima para a sua empresa	7	50
	O metal não retorna como matéria-prima para a sua empresa	7	50
Quantidade média de cavaco gerada mensalmente na empresa (t/mês)?	$\leq 0,5$ t/mês	6	42,8
	$0,5 < t/mês < 1$	2	14,3
	$\geq 1$ t/mês	6	42,8
Custo ou o valor de venda com a destinação dos cavacos (R\$/t)?	$\leq 250$ R\$/t	3	30
	$250 < R$/t < 1.000$	2	20
	$\geq 1.000$ R\$/t	5	50

A partir das informações apresentadas na Tabela 24, percebe-se que praticamente 80% das empresas que colaboraram com a pesquisa possuem processo de segregação entre o cavaco e o fluido de corte após processo de usinagem. Na maioria dos casos este processo acontece automaticamente no próprio equipamento do centro de usinagem por meio da separação por gravidade, que é um tipo de escoamento em plano inclinado acoplado ao equipamento. Este processo garante a remoção de grande parte do fluido de corte em condições de reciclagem no equipamento. Apenas uma empresa apresentou processo de usinagem 100% a seco. Em relação à pergunta sobre a gestão do fluido de corte total (retirado do equipamento mais segregado), oito empresas responderam sobre o destino final, onde após a vida útil do fluido, seis delas enviam para rerrefino e duas destinam para aterro industrial. Já as 8 empresas restantes responderam esta questão considerando o fluido de corte após o processo de usinagem, que é reciclado internamente com adição de aditivos a fim de garantir a qualidade da usinagem.

Das empresas que responderam qual a destinação final dada aos cavacos, nenhuma delas destina os cavacos metálicos para aterro industrial, visto que este resíduo, uma vez limpo, possui valor agregado para empresas de fundição ou demais empresas que possam reciclar este resíduo. Considerando que as empresas às vezes têm uma ou mais destinações para seus resíduos de cavaco, dez delas destinam aos PSAs para comercialização de sucata. Cinco destas empresas fundem o material para uso próprio, caracterizando um processo produtivo em ciclo fechado dentro da mesma empresa. Já o restante destina diretamente a empresas que fundem este material para revender como matéria-prima novamente. Sobre esta última colocação, para 50% das empresas os cavacos metálicos retornam como matéria-prima do processo de usinagem, apresentando um processo produtivo em ciclo fechado através da Simbiose Industrial, indo ao encontro das propostas de Braungart; McDonough (2007, 2009) e NISP (2015).

Sobre a quantidade média de cavaco gerada mensalmente nas empresas, apenas 14 delas responderam e entre estas, duas delas não especificaram a quantidade gerada por tipo de cavaco. Desta forma, para as 12 empresas que especificaram, pode-se concluir que ao todo elas geram juntas 414t de cavacos de metais ferrosos (diferentes tipos de aço e ferro fundido) e 63t de cavacos metálicos não ferrosos (ligas de alumínio, ligas de magnésio, ligas de zinco, bronze, cobre, latão). As maiores e menores geradoras de cavacos de metais ferrosos geram mensalmente 400 t e 0,025 t, respectivamente. Em relação aos cavacos de metais não ferrosos, as maiores e menores geradoras geram 55 t e 0,0053 t deste resíduo mensalmente, respectivamente. Para as demais empresas que responderam a esta pergunta, uma delas faz a

doação deste resíduo para determinada empresa que em troca faz a limpeza da empresa geradora. As demais vendem seus cavacos metálicos separados em ferrosos e não ferrosos para PSA com valores variados proporcionalmente a quantidade gerada.

#### 4.2 PROCESSOS DE SEGREGAÇÃO DOS CAVACOS METÁLICOS

A partir das informações obtidas através dos 16 questionários respondidos por empresas que possuem processo de usinagem, foi solicitado visita à planta industrial destas empresas. O total de 8 visitas foram realizadas em diferentes empresas e seus processos produtivos e gestão de resíduos conferidos comparando as informações obtidas com os questionários previamente respondidos. Como já havia sido informado a partir das respostas ao questionário, nenhuma empresa foi identificada neste estudo, então seus nomes ficaram sob sigilo e nomeadas com as letras em ordem alfabética, conforme apresentado na Tabela 25, que mostra um breve histórico de informações a fim de contextualizar as características de cada uma. Informações como cidade, número de funcionários, se possui Licença de Operação Ambiental (LO), Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), Sistema de Gestão Ambiental (SGA) e certificação ISO 14001 são informados.

**Tabela 25 – Histórico das empresas**

<b>Empresas</b>	<b>Cidade</b>	<b>Nº funcionário</b>	<b>LO</b>	<b>PGRS</b>	<b>SGA</b>	<b>ISO 14001</b>
<b>Empresa A</b>	São Leopoldo	Até 19	Sim	Sim	Não	Não
<b>Empresa B</b>	São Leopoldo	Até 19	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Empresa C</b>	Novo Hamburgo	De 20 a 99	Sim	Sim	Não	Não
<b>Empresa D</b>	Novo Hamburgo	De 20 a 99	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Empresa E</b>	Santo Antônio da Patrulha	De 100 a 499	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Empresa F</b>	Sapucaia do Sul	Até 19	Sim	Não	Não	Não
<b>Empresa G</b>	São Leopoldo	Até 19	Sim	Sim	Não	Não
<b>Empresa H</b>	Sapucaia do Sul	De 20 a 99	Sim	Sim	Não	Não

De acordo com a Tabela 25, observa-se que nenhuma das empresas visitadas possui a certificação ambiental ISO 14001 e mesmo assim três delas possuem um Sistema de Gestão Ambiental. Em contrapartida, 100% das empresas visitadas possuem Licença Ambiental de Operações e somente uma não possui Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. A Tabela

26 apresenta as ligas metálicas que são usinadas por cada empresa e se os mesmos possuem algum processo de segregação após a usinagem.

**Tabela 26 – Lista dos tipos de metais usinados para cada empresa e respectivo tipo de separação**

<b>Empresas</b>	<b>Metais usinados</b>	<b>Tipo de separação</b>
<b>Empresa A</b>	Aço baixa liga, aço carbono, bronze, ferro fundido e latão	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem
<b>Empresa B</b>	Aço carbono e aço inoxidável	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem
<b>Empresa C</b>	Aço carbono e ligas de alumínio	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem
<b>Empresa D</b>	Ligas de alumínio	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem mais escoamento posterior
<b>Empresa E</b>	Aço baixa liga, aço carbono, bronze, ferro fundido e latão	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem
<b>Empresa F</b>	Aço baixa liga, aço carbono, aço inoxidável, bronze, ferro fundido, latão, ligas de alumínio e ligas de zinco	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem
<b>Empresa G</b>	Aço carbono, aço inoxidável, latão e ferro fundido	Não se aplica
<b>Empresa H</b>	Aço carbono, aço inoxidável, bronze, ferro fundido e latão	Separação por gravidade no próprio equipamento de usinagem

Como pode ser observado na Tabela 26, a única empresa que não possui processo de separação dos cavacos metálicos do fluido de corte é a Empresa G. O equipamento de usinagem desta empresa é um torno universal mecânico manual, utilizado apenas para fazer reparos em algumas peças produzidas compradas semiacabadas dos fornecedores. Desta forma, possui processo de usinagem a seco utilizando apenas banha de porco aplicada na ferramenta de corte com um pincel, praticamente sem contaminar os cavacos metálicos e com intuito de dar mais qualidade para a superfície da peça usinada. Este processo de usinagem é considerado mais sustentável e uma prática ecoefetiva, uma vez que a empresa resolve o problema da contaminação dos cavacos metálicos com fluido de corte na geração do resíduo. Desta forma colabora com a saúde dos funcionários, diante da não utilização de fluido de corte, e diminuindo o custo com compra deste insumo. Este método também ajuda na reciclagem do cavaco, como este não está contaminado com fluido de corte (CHETAN; GHOSH; RAO, 2015).

Porém, no momento da visita *in loco* na Empresa G foi possível observar que os cavacos metálicos de diferentes ligas (aço carbono, aço inoxidável, bronze, ferro fundido e latão) são armazenados juntos para descarte, como mostra a Figura 9, dificultando a reciclagem, uma vez que estes metais precisam ser previamente separados. A própria empresa informou que, ao contrário das outras, não gera receita com a venda para reciclagem dos cavacos pois acaba pagando para um PSA recolher estes resíduos e conferindo a sua correta destinação. Assim, é possível concluir que é mais vantagem economicamente destinar os cavacos metálicos

com pouca quantidade de fluido de corte (quantidade restante do processo de separação por gravidade, por exemplo) do que destiná-los totalmente limpos de fluido de corte, porém com suas ligas ferrosas e não ferrosas misturadas.



**Figura 9 – Cavacos metálicos da Empresa G misturados para posterior descarte**

As outras sete empresas possuem processo de separação dos cavacos metálicos e dos fluidos de corte por gravidade/escoamento. O processo de separação por gravidade foi encontrado em 100% das empresas visitadas que utilizam fluido de corte no processo produtivo. A opção por este processo de separação ocorre por ser uma opção de acessório acoplado aos tornos encontrados em 60% destas empresas, que é o torno onde a usinagem é feita por Comando Numérico Computadorizado (CNC). A Figura 10 mostra o processo de segregação com acoplamento ao CNC da Empresa A, Empresa C, Empresa E e Empresa H, chamadas de grupo 1. Este processo ocorre automaticamente através de uma esteira que leva os cavacos metálicos a percorrer o caminho do acessório acoplado até cair no recipiente onde eles ficam armazenados para venda, como pode ser visualizado em detalhe na Figura 11. Neste processo, o fluido de corte escorre por gravidade pela esteira até outro refratário, onde ele é armazenado, analisado, aditivado se necessário e retorna em ciclo fechado a ser utilizado no processo de usinagem.



**Figura 10 - Segregação por plano inclinado do grupo 1(Empresa A, Empresa C, Empresa E e Empresa H)**



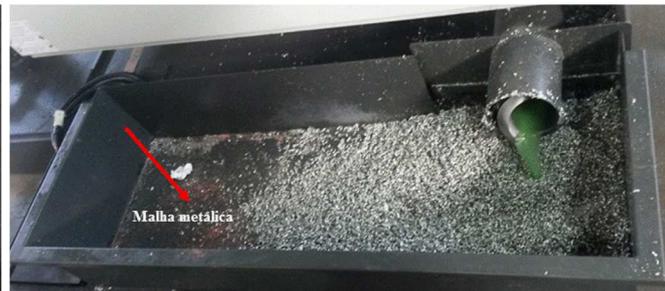
**Figura 11 – Plano inclinado em detalhe do grupo 1**

Os processos de separação do grupo 2, composto pela Empresa D e pela Empresa F, são apresentados na Figura 12. Ambas empresas possuem torno tipo CNC, porém não possuem o acessório acoplado para separação automática. Assim, estas empresas realizam seus processos de separação através da espiral transportadora de cavacos original do equipamento de usinagem, que tem a função de retirar os cavacos metálicos de dentro do equipamento. Na saída da espiral, como pode ser observado na Figura 13, há uma malha metálica que faz a filtração do fluido de corte e dos cavacos metálicos, possibilitando o escoamento do líquido impregnado nos cavacos.

A diferença entre este processo de separação do grupo 2 é que a Empresa D, além do escoamento próprio do torno CNC, ainda possui um *container* vazado na parte inferior, onde os cavacos são armazenados para destinação, como mostra a Figura 14. A finalidade do *container* vazado é coletar o fluido de corte residual que não foi coletado na etapa anterior e o líquido retirado desta etapa volta ao processo produtivo juntamente com o coletado na etapa anterior. Este processo de coleta é realizado através de bacias de contenção localizadas na parte inferior do *container*. As duas empresas também armazenam o fluido para análise de qualidade, aditiva quando necessário e este retorna em ciclo fechado a ser utilizado no processo de usinagem. Pode-se concluir neste caso que a Empresa D, que possui dois processos de escoamento, destina seus cavacos metálicos mais limpos do que a Empresa F.



**Figura 12 - Segregação por plano inclinado do grupo 2 (Empresa D e Empresa F)**



**Figura 13 – Malha metálica coletora em detalhe do grupo 2**



**Figura 14 – Container coletor de óleo residual da Empresa D**

Entre as empresas visitadas que utilizam fluido de corte no processo de usinagem, a Empresa B, representante do grupo 3, é a única que utiliza torno universal mecânico para usinar, com adaptação realizada pela própria empresa para coletar o fluido de corte e para escorrer os cavacos metálicos. Com base na Figura 15 é possível visualizar, a partir do ângulo que a empresa permitiu fotografar, o processo para separação do fluido de corte dos cavacos metálicos e os recipientes onde os cavacos são armazenados. Estes mesmos recipientes são onde o fluido de corte vai escorrendo para os níveis mais baixos até chegar em um reservatório específico. Assim como nas outras empresas, o fluido de corte é aditivado quando necessário e retorna em ciclo fechado para ser utilizado no processo de usinagem através das mangueiras da Figura 16. Esta empresa e as outras que utilizam fluido de corte até o fim de sua vida útil garantem maior durabilidade para o fluido e contribuem para que haja um sistema fechado de reciclagem, no qual o produto retorna ao seu estado inicial (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). No caso do fluido de corte, após não poder mais ser reciclado e chegar ao final de sua vida útil, todas as empresas descartam para rerrefino, se tornando um subproduto.

A partir da amostragem de cavacos gerados, foi possível visualizar e utilizar o sentido do tato para avaliar a qualidade da separação dos cavacos metálicos e do fluido de corte, sendo que os da Empresa B apresentaram-se menos limpos, ou seja, o processo de separação apresentado não é tão eficiente como os das outras empresas. Esta análise empírica pela pesquisadora não considerou as condições de qualidade do equipamento em realizar a separação.



**Figura 15 - Segregação por plano inclinado do grupo 3 (Empresa B)**



**Figura 16 – Mangueiras que possibilitam o ciclo fechado do fluido de corte**

Os processos de separação apresentados pelas empresas visitadas são de simples execução com tecnologias já existentes e, na maioria dos casos, própria do equipamento utilizado. Estes processos fazem a separação dos resíduos através do escoamento por plano inclinado, facilitando a reciclagem tanto dos cavacos metálicos quanto do fluido de corte. Estes métodos de separação física não geraram novos resíduos, assim como ocorre no processo de limpeza dos cavacos via lavagem com reagente químico em ciclo fechado apresentado por Dutra et al. (2007).

A Figura 17 apresenta o fluxograma do processo de limpeza estudado por Dutra et al. (2007). A imagem ilustra as etapas onde o cavaco é gerado, sua lavagem com reagente químico, filtragem para separar o residual líquido (reagente químico mais fluido de corte) e, após a etapa de filtragem, paralelamente ocorre a recuperação do reagente químico e do fluido de corte e a secagem e briquetagem dos cavacos metálicos limpos. Cabe ressaltar que o reagente químico, após processo de regeneração, volta ao processo de limpeza em ciclo fechado. Já a qualidade do fluido de corte regenerado não foi testada pelos pesquisadores. Outro diferencial

deste processo em relação aos demais visualizados *in loco*, é o resíduo metálico briquetado, que possui maior valor agregado em comparação aos cavacos soltos.

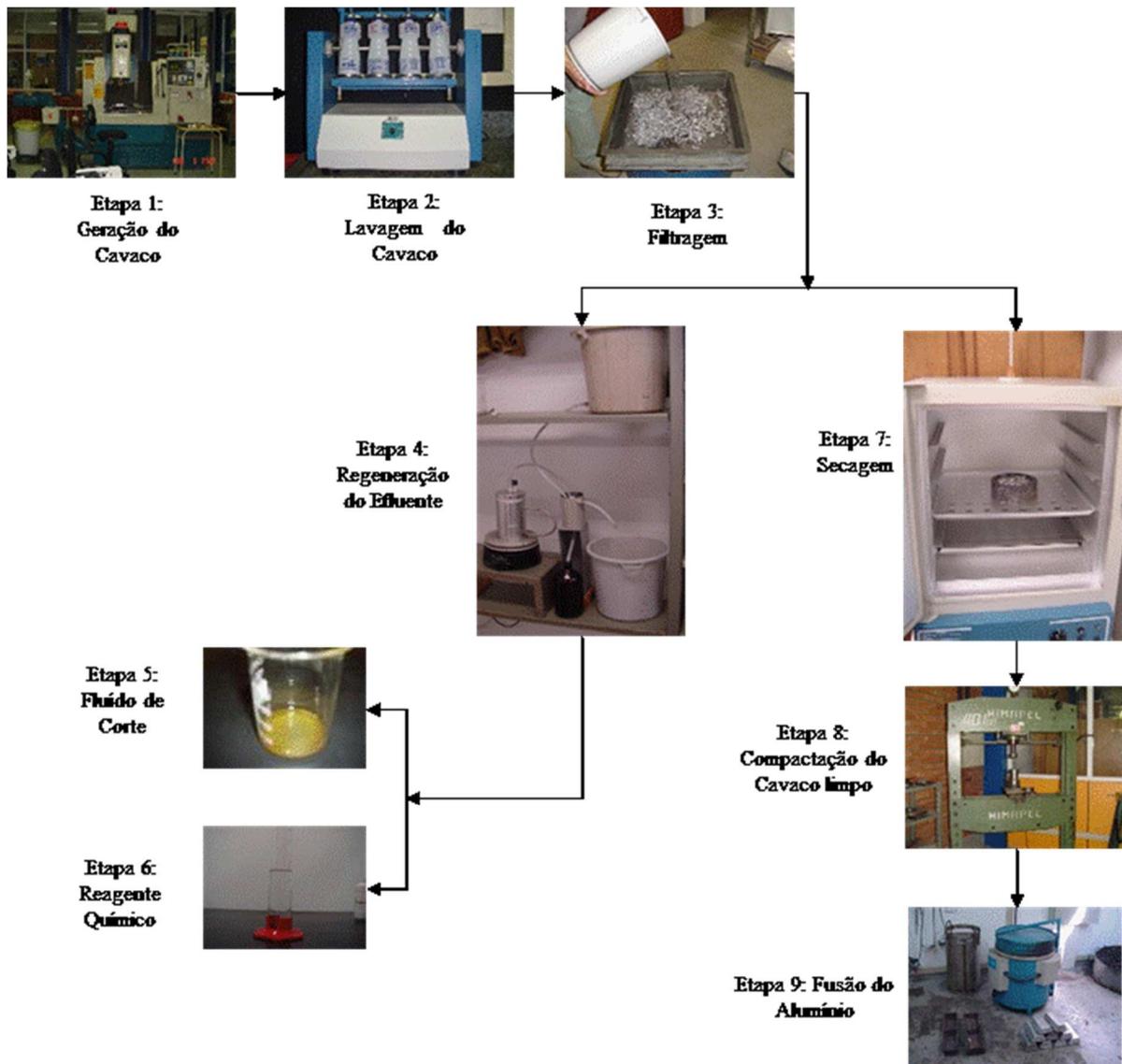


Figura 17 – Processo de limpeza do grupo 4 proposto por Dutra et al. (2007)

Já os estudos apresentados por Gronostajski et al. (2002, 2000, 1998), Fu; Matthews; Warner (1998), Khamis; Lajis; Albert (2015), Lucci et al. (2015), Torkar; Lamut; Millaku (2010) e Von Hohendorff; Junior (2007) propõem a limpeza dos cavacos metálicos por meio de lavagem com água, solventes e detergentes e posterior aquecimento ou centrifugação para secagem. Em termos de qualidade de cavaco limpo, provavelmente os processos estudados na literatura apresentem maior eficiência comparado com os métodos visualizados nas empresas visitadas, porém estes processos possivelmente causam mais impactos ambientais negativos, uma vez que geram novo resíduo de água misturados com solventes ou detergentes contaminados com fluido de corte.

#### 4.3 MAPEAMENTO DAS ROTAS DE RECICLAGEM

Após o processo de limpeza dos cavacos metálicos contaminados com fluido de corte, as oito empresas visitadas têm os processos de reciclagem externa destes cavacos metálicos gerados contabilizando 16 rotas diferentes, como pode ser observado na Tabela 27.

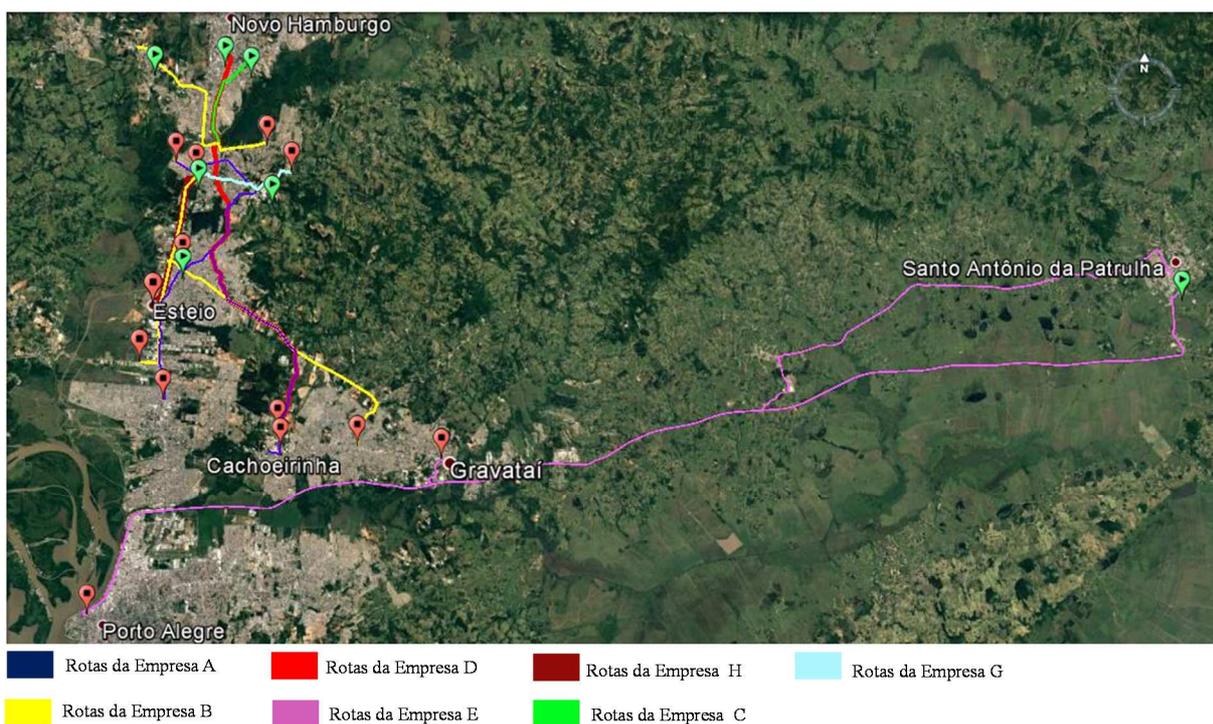
**Tabela 27 – Rotas da reciclagem das empresas visitadas**

<b>Empresas</b>	<b>Rotas</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Massa real de cavaco transportada (kg)</b>
<b>Empresa A</b>	Rota 1	31,9	200
	Rota 2	21,2	200
	Rota 3	8,3	350
<b>Empresa B</b>	Rota 4	15,4	50
	Rota 5	49,7	50
	Rota 6	26,1	50
<b>Empresa C</b>	Rota 7	14,1	200
	Rota 8	11	200
<b>Empresa D</b>	Rota 9	36,2	2600
<b>Empresa E</b>	Rota 10	56,8	8930
	Rota 11	80,7	70
<b>Empresa F</b>	Rota 12	6,2	30
<b>Empresa G</b>	Rota 13	7,6	300
<b>Empresa H</b>	Rota 14	8,5	6500
	Rota 15	7,7	200
	Rota 16	4,7	200

A fim de ilustrar as informações sobre as rotas apresentadas na Tabela 27, foi elaborado um mapa no *Google Earth* com as respectivas rotas e distâncias. A rota 8 da Empresa B e a rota 12 da Empresa F não foram mapeadas pois as empresas não informaram o endereço de destino dos resíduos, apenas a cidade. Assim, apenas foi quantificada as emissões do transporte, visto que sabendo a cidade de destino dos cavacos, foi possível estimar a distância percorrida. O mapa apresentado na Figura 18 mostra as 14 rotas mapeadas e divididas por cores, onde cada cor de rota apresenta apenas uma saída, representada pela empresa geradora do resíduo, e dependendo do caso, mais de uma chegada, representadas pelos PSAs que recebem os resíduos.

A rota 9 pertence a Empresa D, localizada em Novo Hamburgo e tem como destino final a cidade de Cachoeirinha. Esta rota poderia ter como destino o mesmo PSA da rota 3, mas levando-se em consideração que o destino da rota 9 já é uma empresa de fundição, já seria a destinação final do resíduo para reciclagem e retorno a empresa geradora (Empresa D). Uma alternativa mais perto para esta rota poderia ser a destinação da Rota 16, que é uma fundição localizada na cidade de Esteio.

Em relação às rotas 1 e 2, que são as rotas para destinação do latão gerado na Empresa A, a destinação é para empresas de comercialização de metais localizadas em Cachoeirinha (31,9 km) e Canoas (21,2 km). Em visita à empresa A, foi informado que, após a destinação destas rotas, os cavacos são destinados para o estado de São Paulo para fundição, pois no Rio Grande do Sul não possui fundição de latão (de acordo com o entrevistado). Já a rota 16 da Empresa H é referente a cavacos de latão, alumínio e cobre que são destinados a uma fundição em Esteio. Ou seja, a Empresa A poderia destinar estes cavacos à mesma fundição da rota 16, diminuindo em no mínimo 10 km das rotas já utilizadas e até mesmo a outra empresa de fundição de metais não ferrosos encontrada em na cidade de Caxias do Sul que funde latão. Mesmo assim deve ser levado em consideração que, através da conversa com o entrevistado, talvez a decisão da Empresa A enviar seus cavacos de latão para um PSA que posteriormente envia para São Paulo, seja uma decisão estratégica das empresas com uma relação entre cliente e fornecedor.



**Figura 18 – Rotas de reciclagem dos cavacos metálicos das empresas visitadas**

Fonte: *Google Earth* (2016).

As rotas 4 e 7 de cavacos de aço partem de São Leopoldo e Novo Hamburgo, respectivamente e têm o mesmo destino, empresa de comercialização de sucata de aço localizada em São Leopoldo. Analisando as outras rotas que compreendem os cavacos de aço

e que tem como destino as cidades de Alvorada, Canoas e Gravataí, pode-se concluir que as rotas 4 e 7 estão com a sua melhor gestão de transporte. As rotas 5 e 6 pertencem a Empresa B e transportam os mesmos cavacos de aço transportados na Rota 4. A existência destas três rotas, segundo a empresa, é relativa a quantidade de cavaco que é gerada na empresa e ao preço de negociação do mês de venda.

A Empresa E, localizada a cerca da 100km distante das demais empresas estudadas, apresenta maior distância nas rotas 10 e 11. Em visita à planta da empresa foi informado de que na própria cidade, por ser mais afastada da região industrial do estado, não possui PSA estratégico para venda de seus cavacos. Desta forma estas rotas têm as distâncias de 56,8 km e 80,7 km, respectivamente.

A rota 13 pertence a Empresa G, que armazena e descarta seus cavacos metálicos ferrosos e não ferrosos misturados. Esta rota possui pequena distância entre empresa geradora e empresa de comercialização de sucatas. O mesmo ocorre com a Empresa H, que possui suas rotas 14, 15 e 16 com a distância máxima de 8,5 km, não necessitando nova gestão de rotas. Esta empresa possui um processo de corte em chapas de aço silício, onde um dos resíduos deste processo são pontas de chapa de aço silício sem contaminantes. Este resíduo é vendido para uma fundição em São Sebastião do Caí, percorrendo 32,8 km. A empresa de fundição utiliza este resíduo como matéria-prima do processo de fundição para obtenção de ferro fundido, que é vendido como matéria-prima para a Empresa H, formando mais uma relação de Simbiose Industrial dentro da Região Metropolitana de Porto Alegre.

Relação semelhante foi observada por Rocha (2010) que também identificou relação direta de Simbiose Industrial entre uma empresa do setor metalmeccânico geradora de cavaco metálico e uma fundição dentro da mesma região que utiliza este resíduo como matéria-prima. A fundição apresenta papel de cliente e fornecedora ao mesmo tempo, uma vez que este resíduo após beneficiamento retorna para a empresa que o gerou como matéria-prima novamente. Através do mapeamento de rotas a autora também pode sugerir novo fornecedor de outra liga metálica dentro da região delimitada por ela à empresa estudada, visto que esta utilizava um fornecedor de outro estado.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTAIS

Este item apresenta a avaliação dos Aspectos e Impactos Ambientais de forma qualitativa e quantitativa. Para fazer esta avaliação foi elaborado um diagrama de blocos de

entradas e saídas único para fundamentar a avaliação dos processos de usinagem, separação dos fluidos de corte e dos cavacos, armazenamento e transporte das oito empresas visitadas e analisadas. Este diagrama está apresentado em formato de fluxograma de processos e expresso através da Figura 19, onde atribuiu-se a sigla MP para entrada de matéria-prima e MO para entrada de mão-de-obra.

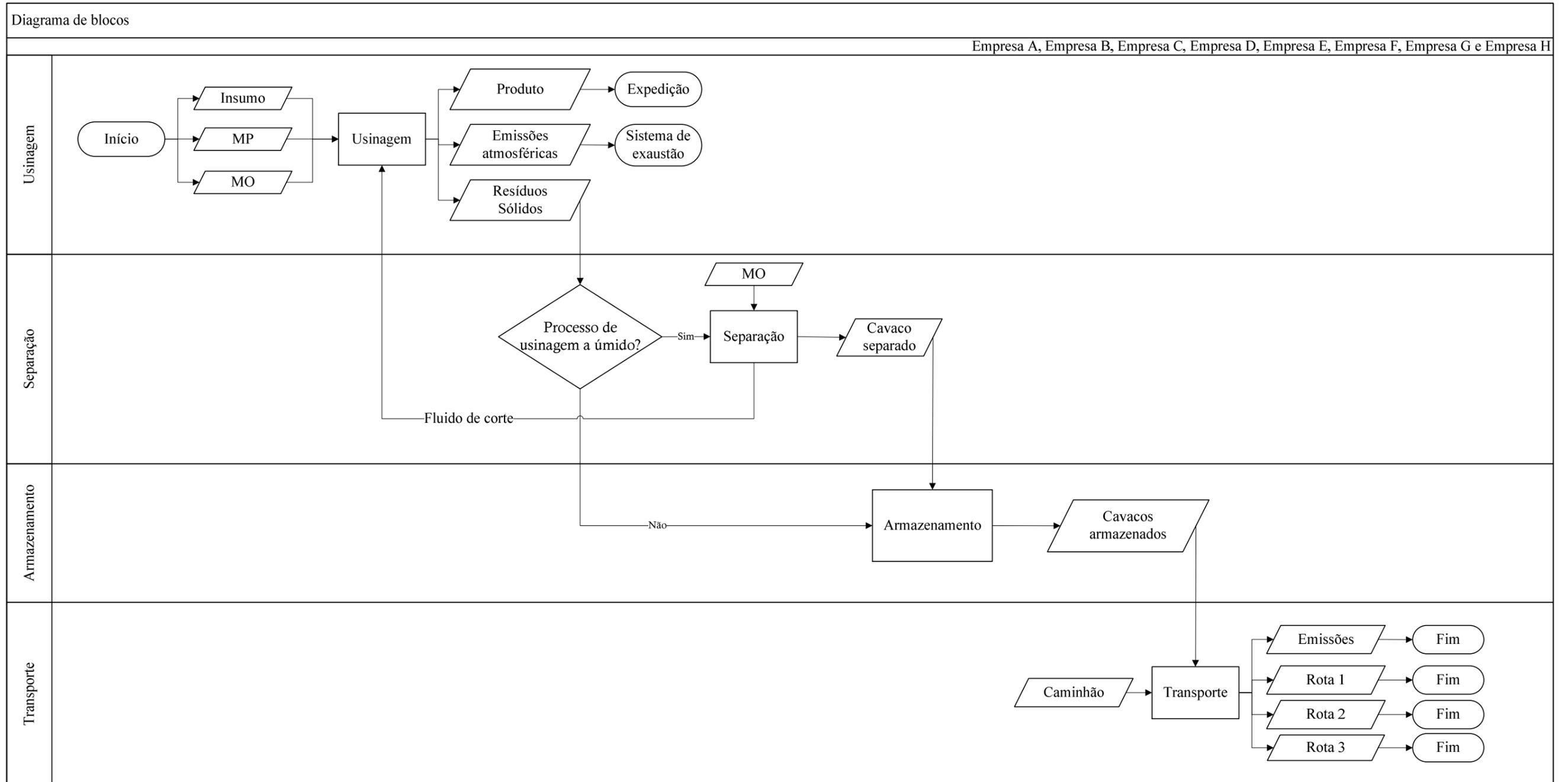


Figura 19 – Diagrama de blocos com entradas e saídas de todas as empresas visitadas

#### **4.4.1 Avaliação Qualitativa dos Aspectos e Impactos Ambientais**

A Tabela 28, Tabela 29, Tabela 30, Tabela 31, Tabela 32, Tabela 33, Tabela 34 e a Tabela 35 apresentam as planilhas de aspectos e impactos ambientais qualitativos identificados e avaliados nas empresas visitadas conforme adaptado do SGA UNISINOS (2015). Os processos analisados, conforme fluxograma apresentado anteriormente, foram os de usinagem, separação dos fluidos de corte e dos cavacos, armazenamento e transporte das oito empresas visitadas e analisadas. A Tabela 36 apresenta a avaliação dos aspectos e respectivos impactos ambientais do processo de limpeza em ciclo fechado proposto por Dutra et al. (2007, que servirá como comparativo aos outros métodos

Tabela 28 – Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa A

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S	
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado	
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico	
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (aço inoxidável)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (bronze)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (ferro fundido)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (latão)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Utilização de matéria-prima reciclada (latão)	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	1	1	6	Desprezível	
	Geração de cavacos de aço carbono contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de aço inoxidável contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de bronze contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ferro fundido contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de latão contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de ruído		Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado
Emissão de material particulado		Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível	
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível	
	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado	
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado	
Transporte (km)	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Consumo de combustível	Adv.	2	4	4	10	Crítico	
			Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico
			Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

Tabela 29 – Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa B

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S	
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado	
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico	
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (aço inoxidável)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Geração de cavacos de aço carbono contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de aço inoxidável contaminados		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de ruído		Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado
Riscos à saúde humana			Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Emissão de material particulado		Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível	
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível	
	Recuperação do fluido de corte		Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado	
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	4	4	10	Crítico	
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico	
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico	

Tabela 30 – Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa C

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (ligas de alumínio)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Utilização de matéria-prima reciclada (ligas de alumínio)	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Geração de cavacos de aço carbono contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ligas de alumínio contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Geração de ruído	Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	4	4	10	Crítico
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

Tabela 31 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa D

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico
	Consumo de matéria prima (ligas de alumínio)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Utilização de matéria-prima reciclada (ligas de alumínio)	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Geração de cavacos de ligas de alumínio contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de ruído	Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado
Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	4	4	10	Crítico
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

Tabela 32 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa E

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço baixa liga)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (bronze)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Utilização de matéria-prima reciclada (bronze)	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Consumo de matéria prima (ferro fundido)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (latão)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Geração de cavacos de aço baixa liga contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de aço carbono contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de bronze contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ferro fundido contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de latão contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de ruído	Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado
Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	4	4	10	Crítico
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

Tabela 33 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa F

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço baixa liga)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço inoxidável)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (bronze)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (ferro fundido)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (latão)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (ligas de alumínio)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (ligas de zinco)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Geração de cavacos de aço baixa liga contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de aço carbono contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de aço inoxidável contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de bronze contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ferro fundido contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de latão contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ligas de alumínio contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ligas de zinco contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Risco de alteração da qualidade do solo		Adv.	4	2	2	8	Moderado	
Geração de ruído	Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	4	4	10	Crítico
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

Tabela 34 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa G

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S	
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (aço inoxidável)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (ferro fundido)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Consumo de matéria prima (latão)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico	
	Geração de cavacos de aço carbono		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	1	7	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	1	7	Moderado
	Geração de cavacos de aço inoxidável		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	1	7	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	1	7	Moderado
	Geração de cavacos de ferro fundido		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	1	7	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	1	7	Moderado
	Geração de cavacos de latão		Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	1	7	Moderado
			Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	1	7	Moderado
	Geração de ruído		Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado
Emissão de material particulado		Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Armazenamento	Armazenamento de resíduo metálico não perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	1	1	6	Desprezível	
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	3	4	9	Crítico	
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	3	2	7	Moderado	
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico	

Tabela 35 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos ambientais da Empresa H

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S
Usinagem	Consumo de energia elétrica	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	3	4	1	8	Moderado
	Consumo de insumo (fluido de corte)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	3	4	4	11	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço carbono)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (aço inoxidável)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (bronze)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (ferro fundido)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Consumo de matéria prima (latão)	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Utilização de matéria-prima reciclada (latão)	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Geração de cavacos de aço carbono contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de aço inoxidável contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de bronze contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de ferro fundido contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
		Risco de alteração da qualidade do solo	Adv.	4	2	2	8	Moderado
	Geração de cavacos de latão contaminados	Risco de alteração da qualidade da água	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Risco de alteração da qualidade do solo		Adv.	4	2	2	8	Moderado	
Geração de ruído	Poluição sonora	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado	
Separação	Limpeza primária do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	2	2	8	Moderado
Transporte (km)	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	4	4	10	Crítico
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	4	4	10	Crítico
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

Tabela 36 - Avaliação qualitativa dos aspectos e impactos do processo de limpeza proposto por Dutra et al. (2007)

Ativ.	Aspecto	Impacto	C	F	A	S	I	S
Separação/Limpeza	Limpeza completa do cavaco	Diminuição do risco de alteração da qualidade da água	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
		Diminuição do risco de alteração da qualidade do solo	Ben.	4	1	1	6	Desprezível
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado
	Consumo de insumo (água)	Uso de recurso natural não renovável ou escasso	Adv.	1	4	2	7	Moderado
	Consumo de insumo (energia elétrica)	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
Tratamento do efluente	Recuperação do fluido de corte	Diminuição do uso de recursos naturais	Ben.	4	4	1	9	Moderado
	Recuperação de insumo (água)	Diminuição do uso de recurso natural não renovável ou escasso	Ben.	1	4	1	6	Desprezível
	Consumo de insumo (energia elétrica)	Uso de recurso natural não renovável	Adv.	4	4	4	12	Crítico
	Emissão de material particulado	Alteração da qualidade do ar	Adv.	4	1	2	7	Moderado
Armazenamento	Armazenamento de resíduo não perigoso	Ocupação de área	Adv.	4	1	2	7	Moderado
		Risco de contaminação do meio ambiente	Adv.	4	1	1	6	Desprezível
Transporte	Consumo de combustível	Redução da disponibilidade de recursos naturais	Adv.	2	3	4	9	Crítico
	Geração de emissões atmosféricas (emissões de GEE)	Alteração da qualidade do ar	Adv.	2	3	2	7	Moderado
		Efeito estufa	Adv.	2	4	4	10	Crítico

O levantamento dos aspectos e respectiva avaliação de impactos ambientais resultou na identificação de impactos ambientais benéficos e adversos. Os impactos benéficos encontram-se no processo de usinagem de empresas que utilizam matéria-prima reciclada, independentemente do tipo de material, e no processo de limpeza e separação dos cavacos metálicos e do fluido de corte. Como resultado deste último processo têm-se como resultado cavacos metálicos quase limpos, com apenas uma pequena parte residual de fluido de corte, e o fluido de corte separado que volta a ser reciclado no processo de usinagem após adição de aditivos.

A única empresa que não apresentou impactos ambientais benéficos foi a Empresa G, que apesar de não utilizar fluido de corte no processo de usinagem e desta forma reduzindo de 8 para 7 o risco de contaminação da água e do solo em e de 8 para 6 o risco de contaminação do meio ambiente com o armazenamento em relação às demais, armazena os cavacos metálicos com todas as suas ligas de ferrosos e não ferrosos misturados dificultando sua reciclagem.

É possível observar que para todas as empresas os impactos ambientais negativos mais significativos são a utilização de recursos naturais não renováveis, escassos e a redução da disponibilidade de recursos naturais. Outros impactos ambientais negativos significativos são os relacionados ao aspecto transporte do resíduo cavaco metálico com pequeno residual de fluido de corte gerado pelas empresas e transportados até o Prestador de Serviço Ambiental para dar continuidade ao processo de reciclagem. Como resultado deste aspecto, têm-se os impactos de redução da disponibilidade de recursos naturais, alteração na qualidade do ar e efeito estufa. Ao comparar as empresas que utilizam fluido de corte nos seus processos e o processo proposto por Dutra et al. (2007), que têm como produto os cavacos metálicos 100% limpos, observou-se a redução ao transporte dos cavacos, o impacto ambiental reduziu de 10 para 8,5, passando de crítico para moderado.

A identificação destes impactos ambientais positivos e mesmo a redução do impacto causado pelo aspecto do transporte identifica ações de sustentabilidade empresarial através da Simbiose Industrial, gerando interação entre empresas geradoras de resíduo e empresas que podem reciclá-lo e reinserir na cadeia produtiva como matéria-prima (Rocha; Moraes; Bastos (2015).

Em relação aos aspectos de consumo de recursos naturais, para o Ministério de Meio Ambiente (MMA, 2015) as indústrias respondem por cerca de 20% do consumo total de água, utilizando grandes quantidades de água limpa. A água tem diversas aplicações nos processos industriais variando de lavagem, incorporação nos produtos, refrigeração, etc.

Dependendo do ramo industrial e da tecnologia adotada, a água resultante dos processos industriais (efluentes industriais) pode carregar resíduos tóxicos, como metais pesados e restos de materiais em decomposição. Estima-se que a cada ano acumulem-se nas águas de 300 mil a 500 mil toneladas de dejetos provenientes das indústrias.

Como resultado da avaliação qualitativa de aspectos e impactos ambientais obteve-se o número de três impactos ambientais benéficos para duas empresas que utilizam fluido de corte no processo de usinagem e separam os mesmos dos cavacos metálicos e, além destes, mais um impacto benéfico para cinco empresas que ainda utilizam matéria-prima reciclada. Em relação aos impactos ambientais críticos adversos, entre as sete empresas que utilizam fluido de corte no processo de usinagem têm seis impactos críticos relativos ao consumo de energia elétrica, utilização de matéria-prima, utilização de fluido de corte e transporte. Para estas empresas, a quantidade de impactos críticos só muda em relação a quantidade de metais que são usinados.

Já no processo proposto por Dutra et al. (2007), como impactos benéficos observa-se a limpeza total dos cavacos acarretando na diminuição do risco de alteração da qualidade da água e do solo, a recuperação dos insumos fluido de corte e água. Cabe ressaltar que a água é utilizada em ciclo fechado para o resfriamento do sistema de destilação. Consumo de energia elétrica e transporte foram identificados como impactos ambientais adversos críticos neste processo.

A partir da avaliação de impactos ambientais é possível contextualizar as oito empresas visitadas juntamente com o método de Dutra et al. (2007), dentro da proposta apresentada por Lutkemeyer (2014) e Moraes; Simon; Vargas (2025) para identificação dos elementos de ecoeficiência e ecoefetividade. Os resultados desta avaliação estão apresentados na Tabela 37.

**Tabela 37 – Contextualização das oito empresas mais Dutra et al. (2007) para identificação dos elementos de ecoeficiência e ecoefetividade**

ELEMENTO	Grupos			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Comparativos	Ecoeficiente	Ecoeficiente	Ecoeficiente	Ecoefetivo
ORIENTAÇÃO	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo
PARADIGMA	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo
PRESSUPOSTOS	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoefetivo
INOVAÇÃO	Ecoefetivo	Ecoefetivo	Ecoeficiente	Ecoefetivo
VISÃO DE NEGÓCIOS	Ecoeficiente	Ecoeficiente	Ecoeficiente	Ecoefetivo

Para o grupo 3, que possui escoamento parcial do fluido de corte do resíduo metálico antes da sua venda, foi caracterizado como abordagem ecoeficiente em relação à sua

orientação de promover ações com resultados a curto prazo. Uma vez que a fusão dos resíduos com pequeno residual de óleo do grupo 3 por uma fundição tem caráter incremental com pouca inovação, este processo aumenta a vida útil do produto com a reciclagem, não havendo novo modelo de negócio. Sob o ponto de vista do resíduo, este processo pode ser considerado ecoefetivo, pois considera o resíduo como nutriente gerando um fluxo cíclico, uma vez que volta a ser matéria prima para outra empresa, apresentando um metabolismo do berço ao berço. Permitindo assim que os materiais mantenham a sua condição de recursos e acumulem valor agregado ao longo do tempo. Esta condição gera uma relação sinérgica entre os sistemas ecológicos e econômicos - uma reconexão positiva da relação entre economia e ecologia (Braungart, et al, 2007; Toxopeus et al, 2015). Neste caso não está sendo considerada a qualidade do resíduo/matéria-prima em questão.

Nos grupos 1, 2 e 3 observam-se paradigmas e pressupostos ecoeficientes, uma vez que visam o fluxo cíclico dos materiais, nomeadamente do berço ao berço. Porém suas visões de negócio e inovação são consideradas ecoefetivas por visarem o reparo, o reuso, a reciclagem e, portanto, serem apenas de caráter incremental. Dentre estas empresas, as do grupo 1, que apresentam cavacos com menos resíduo de fluido de corte, foi identificada a abordagem ecoeficiente, uma vez que sua orientação promove ações com resultado a curto prazo. Porém, estas empresas referidas são consideradas mais ecoeficientes que as demais por venderem cavacos menos contaminado com fluido de corte, e desta forma contribuir para a menor geração de escória e emissões atmosféricas. O mesmo ocorre com a Empresa D pertencente ao grupo 2, visto que além de fazer a separação que o próprio equipamento de usinagem já faz, ainda faz uma segunda separação por gravidade a fim de desperdiçar menos fluido de corte e vender o cavaco mais limpo.

A empresa G não foi contextualizada nos elementos de ecoeficiência e ecoefetividade pois não utiliza fluido de corte no processo de usinagem e também mistura seus cavacos metálicos entre ferrosos e não ferrosos, dificultando a reciclagem e portanto, evadindo do escopo desta pesquisa. Mesmo assim, esta empresa poderia ser identificada com a abordagem da ecoefetividade uma vez que evita a contaminação de seus resíduos ao utilizar o processo de usinagem a seco e facilitando sua reciclagem. Porém, ao misturar todos os resíduos metálicos de usinagem ela dificulta a reciclagem, identificando abordagem ecoeficiente por adotar o paradigma do berço ao túmulo (fluxo linear), uma vez que aparece reduzindo o impacto ambiental em relação às demais empresas, visto que não apresenta a possibilidade de derramamento de óleo lubrificante na natureza ao fazer o processo de escoamento.

Verifica-se também que nenhuma das empresas entrevistadas apresenta um comportamento similar ao processo de limpeza proposto por Dutra et al., (2007). Ou seja, nenhuma das empresas estudadas atende a todos os elementos sugeridos por Lutkemeyer (2014), ainda que algumas possuam processo cíclico em relação à reciclagem do cavaco gerando tendência à ecoefetividade, que também pode ser observado através dos impactos ambientais benéficos como a utilização de matéria-prima reciclada.

Contudo, as empresas do setor metalmeccânico ainda tem um longo caminho a percorrer para atender aos cinco passos propostos por Braungart e McDonough (2009) para alcançar a ecoefetividade. Atributos como ausência de produtos tóxicos conhecidos e escolha de matérias-primas menos agressivas ao meio ambiente e ao ser humano exigem muito tempo de estudo e inovação, uma vez que não é comum encontrar fornecedores de produtos adequados que atendam à demanda ecoeficiente no setor metalmeccânico (Braungart e McDonough (2009). Porém verifica-se um avanço satisfatório neste setor, ao identificar empresas que apresentam características de fluxo cíclico de materiais em um resíduo gerado, elemento pressuposto por Lutkemeyer (2014).

#### **4.4.2 Avaliação Quantitativa do Aspecto Ambiental Geração de Emissões Atmosféricas no Transporte**

Conforme comentado no item anterior, um dos impactos ambientais negativos mais significativos, para as oito empresas analisadas, são relacionados ao aspecto ambiental de transporte do resíduo cavaco metálico, ocasionando em redução da disponibilidade de recursos naturais, alteração na qualidade do ar e efeito estufa. Assim, foi realizada análise quantitativa da etapa do transporte das empresas visitadas a fim de quantificar as emissões da atividade de transporte dos cavacos metálicos. A fórmula utilizada para a análise é a da Equação 3.

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ eq transporte} = ((\text{FCO} * \text{CO}_2 \text{ EqCO}) + (\text{FNO}_x * \text{CO}_2 \text{ EqNO}_x)) * D$$

**Equação 3**

As substâncias consideradas para o cálculo das emissões de CO<sub>2eq</sub> foram o CO e NO<sub>x</sub> a partir de valores pré-estabelecidos na legislação que vigora (BRASIL, 2011). Os fatores de emissão de CO e NO<sub>x</sub> para motores Diesel, em g<sub>poluentes</sub>/km para caminhões pesados (P7) são, respectivamente 1,06 e 0,20 (BRASIL, 2011). Considerando que a massa dos cavacos metálicos foi contabilizada em quilogramas, os fatores de emissão de CO e NO<sub>x</sub> em

kg<sub>poluentes</sub>/km passam a ser, respectivamente 0,00106 e 0,0002 e calculados a partir da Equação 4.

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = [((\text{FCO} * \text{CO}_2\text{EqCO}) + (\text{FNO}_x * \text{CO}_2\text{EqNO}_x)) * \text{D}] / \text{m}$$

#### Equação 4

As empresas enviam várias quantidades de cavacos metálicos para as empresas licenciadas que recolhem este resíduo. Na maioria dos casos analisados, esta quantidade é menor do que a capacidade do caminhão transportador. Desta maneira, diante da ausência de informação da quantidade real e efetiva de cavacos metálicos que estes caminhões transportam da empresa geradora até as recicladoras, e para que haja coerência nos resultados dos cálculos das emissões resultantes deste processo, foi necessário uniformizar a quantidade total de resíduos transportados para a capacidade máxima do caminhão. Neste caso foi considerado um caminhão com capacidade de transporte de 3.600 kg de cavacos metálicos. Cabe ressaltar que estes mesmos cálculos considerando a quantidade real de resíduos recolhida das empresas são apresentados no Apêndice C deste documento.

Em relação às informações oriundas das empresas, os cálculos levam em consideração as informações das rotas apresentadas na Tabela 27 presente no item de mapeamento das rotas de reciclagem e seguem a seguir, divididos entre as 8 empresas e suas respectivas 16 rotas. Abaixo seguem os cálculos relativos às emissões de carbono equivalente.

#### Empresa A:

##### Rota 1

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} * 3) + (0,0002 \text{ kg/km} * 280)) * 31,9] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = \mathbf{0,00052 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

##### Rota 2

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} * 3) + (0,0002 \text{ kg/km} * 280)) * 21,2] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = \mathbf{0,00035 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

##### Rota 3

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} * 3) + (0,0002 \text{ kg/km} * 280)) * 8,3] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{ Eq transporte} = \mathbf{0,00014 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

#### Empresa B:

##### Rota 4

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 15,4] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00025 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

*Rota 5*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 49,7] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00082 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

*Rota 6*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 26,1] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00046 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

**Empresa C:**

*Rota 7*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 14,1] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00023 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

*Rota 8*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 11] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00018 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

**Empresa D:**

*Rota 9*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 36,2] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00060 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

**Empresa E:**

*Rota 10*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 56,8] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00093 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

*Rota 11*

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 80,7] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = \mathbf{0,00133 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}}$$

**Empresa F:***Rota 12*

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 6,2] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = \mathbf{0,00010 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}}$$

**Empresa G:***Rota 13*

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 7,6] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = \mathbf{0,00012 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}}$$

**Empresa H:***Rota 14*

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 8,5] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = \mathbf{0,00014 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}}$$

*Rota 15*

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 7,7] / 3600 \text{ kg}$$

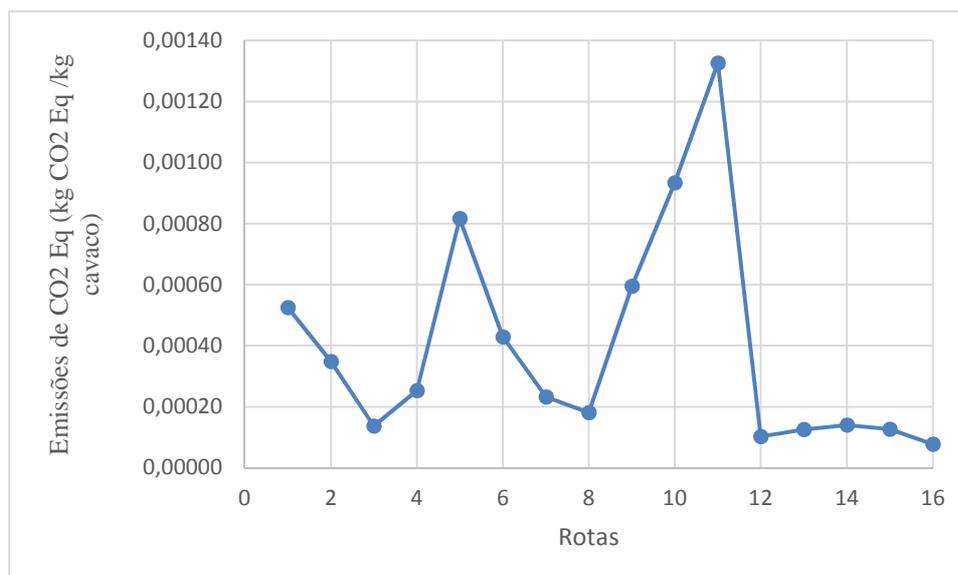
$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = \mathbf{0,00013 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}}$$

*Rota 16*

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 4,7] / 3600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = \mathbf{0,00008 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}}$$

As rotas que apresentaram as menores emissões de CO<sub>2</sub>Eq foram a 16 e a 12, que tiveram 4,7 km e 6,2 km de cavacos transportados, respectivamente. A Figura 20 apresenta a variação de carbono equivalente emitido nas rotas analisadas.



**Figura 20 – Quantidade de carbono equivalente emitido em cada rota**

Considerando que os dados utilizados para o cálculo de emissão de carbono equivalente são constantes, como os fatores de emissão para o caminhão e a capacidade do mesmo, variando apenas a distância, as emissões são maiores à medida que esta aumenta. Anteriormente foi comentado que a rota 9 da Empresa D poderia mudar sua destinação para a mesma da rota 16. Em caso de substituição, a Empresa D, ao invés de emitir 0.00060 kg CO<sub>2Eq</sub>/kg cavaco reduziria esta emissão para 0,00031 kg CO<sub>2Eq</sub>/kg cavaco. Estes dados representam uma redução de aproximadamente 50% das emissões em um período de um ano. A sugestão de mudança de rota, apesar de não significar grande redução de quilometragem realizada pelos caminhões, neste caso, a análise de fluxo de materiais e energia a fim de melhorar a relação ambiental e econômica das empresas é significativa, e também sendo esta apresentada por Suh; Kagawa (2010).

#### 4.5 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Neste item, são apresentados os cálculos de *payback* e de valor presente líquido (VPL) referentes aos processos de separação/limpeza dos grupos 1, 2, 3 e 4. Para o cálculo de *payback* e VPL por grupos, foi calculado a média de geração de cavacos ferrosos e não ferrosos e o quanto cada empresa lucra com a venda destes resíduos, conforme mostra a Tabela 38.

**Tabela 38 – Valores considerados no cálculo de *payback* e VPL em relação ao lucro de venda dos cavacos**

Grupos	Empresas	Dados para cálculo
--------	----------	--------------------

	Ferrosos		Não ferrosos		
	Quantidade (t)	Preço (R\$/t)	Quantidade (t)	Preço (R\$/t)	
<b>Grupo 1</b>	Empresa A	0,45	150,00	0,1	380,00
	Empresa C	0,2	150,00	1,5	3.300,00
	Empresa E	9	250,00	-	-
	Empresa H	6,2	300,00	0,2	4.000,00
	<b>MÉDIA</b>	<b>4</b>	<b>250,00</b>	<b>0,6</b>	<b>3.000,00*</b>
<b>Grupo 2</b>	Empresa D	-	-	2,6	3.200,00
	Empresa F	-	-	0,03	1.000,00
	<b>MÉDIA</b>	-	-	<b>1,315</b>	<b>2.100,00</b>
<b>Grupo 3</b>	<b>Empresa B</b>	<b>0,05</b>	<b>250,00</b>	-	-

\*No caso do alumínio não se utilizou a média dos três valores pois o valor não seria proporcional a realidade visto a grande diferença para os outros valores apresentados. A fim de confirmação, a pesquisadora entrou em contato com outras empresas que compram sucatas de não ferrosos (neste caso é o alumínio que está sendo considerado) e o preço variou entre R\$3.000,00 em 4.000,00.

Pode-se observar que o grupo 1 lucra R\$1.000,00 por mês com a venda dos cavacos ferrosos e R\$1.800,00 com a venda dos cavacos não ferrosos. Já o grupo 2 e 3 lucram R\$2.761,50 e R\$12,50 por mês com a venda de seus cavacos não ferrosos, respectivamente.

#### Considerações:

- investimento inicial ( $I_0$ ) = preço estimado do equipamento de usinagem +acoplamento, adaptação ou equipamento de separação/ de cada grupo;
- o valor de descarte adotado por tonelada de resíduo é o mesmo valor pago pela Empresa G para descartar seus cavacos metálicos misturados (R\$1.300,00/t);
- esta pesquisa não teve acesso aos dados de fluxo de caixa (FC) das empresas, desta forma adotou-se como FC o valor que a empresa deixa de gastar com o descarte dos resíduos somados ao valor que a empresa lucra com a venda destes resíduos;
- esta pesquisa não levou em consideração valores de depreciação dos equipamentos analisados.

- as quantidades de geração de sucatas ferrosas e não ferrosas do grupo 4, processo proposto por Dutra et al. (2007) foram considerados os mesmos do grupo 1.

Como foi considerado que o grupo 4 tem as mesmas quantidades geradas de cavacos ferrosos e não ferrosos do grupo 1, e o processo de limpeza deste grupo tem como produto os cavacos metálicos briquetados, o valor de venda dos briquetes, com base em valores do mercado, é R\$450,00/t para metais ferrosos e R\$3.250,00 para não ferrosos (alumínio) Diante destes dados, por mês o grupo 4 lucra R\$1.800,00 com a venda dos cavacos ferrosos e R\$1.950,00 com a venda dos cavacos não ferrosos A Tabela 39 apresenta os valores que os grupos 1, 2, 3 e 4 gastariam caso os cavacos metálicos não fossem separados/limpos e tivessem custo de descarte, como ocorre com a Empresa G.

**Tabela 39 – Valores gastos com descarte hipotético para os grupos 1, 2, 3 e 4**

<b>Valor do descarte por tonelada</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>
	Gera 4,6 t/mês	Gera 1,315 t/mês	Gera 0,05 t/mês	Gera 4,6 t/mês
<b>R\$1.300,00</b>	R\$5.980,00	R\$1.300,00	R\$1.709,50	R\$5.980,00

A fim de fundamentar o cálculo de *payback* dos 4 grupos estudados, apresentam na Tabela 40 os valores de investimento inicial em reais adotados, o fluxo de caixa em reais e a taxa mínima de atratividade, taxada em 10% de juros ao ano.

**Tabela 40 – Valores para embasar o cálculo de payback e VPL dos 4 grupos estudados**

<b>Dados</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>
$I_0$ (R\$)	220.000,00	200.000,00	17.000,00	290.000,00
FC (R\$)	103.800,00	53.652,00	930,00	115.200,00
TMA	10%aa	10%aa	10%aa	10%aa
<i>n</i>	4	4	4	4

A Tabela 41 apresenta os resultados do cálculo de *payback* para os grupos 1, 2, 3 e 4. Os cálculos foram realizados de acordo com a Equação 2.

**Tabela 41 – Cálculo de Payback para os grupos 1, 2, 3 e 4**

<b>Payback grupo 1</b>					
<b>ANO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>FC</b>	-220.000	+103.800	+103.800	+103.800	+103.800

<b>FC acumulado</b>	-220.000	-116.200	-12.400	+91.400	+195.200
---------------------	----------	----------	---------	---------	----------

Resultado do Payback do grupo 1 = 2 anos, 1 mês e 13 dias.

**Payback grupo 2**

<b>ANO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>FC</b>	-200.000	+53.652	+53.652	+53.652	+53.652
<b>FC acumulado</b>	-200.000	-146.348	-92.696	-39.044	+14.608

Resultado do Payback do grupo 2= 3 anos, 8 meses e 22 dias.

**Payback grupo 3**

<b>ANO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>FC</b>	-17.000	+930	+930	+930	+930
<b>FC acumulado</b>	-17.000	-16.070	-15.140	-14.210	-13.280

Resultado do Payback do grupo 3= 18 anos, 3 meses e 11 dias.

**Payback grupo 4**

<b>ANO</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>FC</b>	-290.000	+115.200	+115.200	+115.200	+115.200
<b>FC acumulado</b>	-290.000	-174.800	-59.600	+55.60	+170.800

Resultado do Payback do grupo 4= 2 anos, 6 meses e 7 dias.

Os resultados da análise de viabilidade econômica do investimento através do cálculo de VPL são apresentados na Tabela 42 e foram calculados a partir da Equação 1.

**Tabela 42 – Resultado do cálculo do VPL dos 4 grupos**

	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>
<b>Resultado</b>	+38.134,00	-29.954,00	-14.053	+75.167,00
<b>Viabilidade</b>	É viável	Não é viável	Não é viável	É viável

Como pode ser observado na Tabela 42, apenas os investimentos dos grupos 1 e 4 apresentam-se viáveis economicamente. Ou seja, seria interessante do ponto de vista econômico investir na compra do equipamento de usinagem e no processo de separação e limpeza do que investir a mesma quantia da compra do equipamento em um investimento com taxa mínima de atratividade de 10% ao ano. O fato do grupo 2 não ter apresentado viabilidade econômica, pode ser explicado pela diferença na quantidade de cavacos metálicos gerados em relação aos grupos

1 e 4, que gera 70% a mais. Outra questão a ser considerada é que para este estudo não foi considerado no valor do fluxo de caixa o quanto a empresa lucra com a venda da peça usinada, ou seja, este cálculo somente leva em consideração a renda gerada com a venda e não destinação dos resíduos de cavaco metálico.

O grupo 3 foi o que mais se destacou, uma vez que gera apenas 50kg de cavacos mensalmente e mesmo assim investiu em fazer uma adaptação no equipamento de usinagem, torno mecânico, a fim de escorrer os cavacos metálicos. No caso desta empresa, o lucro elevado desta adaptação realizada no torno é o reaproveitamento do fluido de corte, que é reciclado em ciclo fechado dentro do próprio processo.

Dalbem; Brandão; Macedo-Soares (2010) ressaltaram, que a viabilidade de um projeto é determinada quando seu rendimento econômico comprove que o investimento realizado e custo de operação será menor que sua receita. Ou seja, entre os processos de separação e limpeza estudados que apresentaram viabilidade econômica, além do benefício econômico ainda há os benefícios ambientais de redução do impacto ambiental no armazenamento e transporte de resíduos perigosos.



## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada análise ambiental e econômica dos processos de limpeza dos cavacos contaminados com fluido de corte de empresas do setor metalmeccânico da Região Metropolitana de Porto Alegre. A partir do mapeamento das empresas do setor metalmeccânico no site da FEPAM, os resultados identificam um número considerável de indústrias, porém muitas delas sem processo de usinagem. Diante da dificuldade de acesso aos dados das empresas em atuação a partir das fontes analisadas, pode-se deduzir que existam muito mais empresas nesta região.

O levantamento dos aspectos e impactos ambientais nas empresas estudadas levou em consideração as etapas do processo de usinagem, separação, armazenamento e transporte dos cavacos metálicos. Como principais impactos ambientais adversos identificados, estão os relacionados ao consumo de insumos e matéria-prima, sendo a Empresa A, Empresa E e Empresa F as mais impactantes negativamente por também serem as que mais geram tipos diferentes de ligas metálicas. O outro principal impacto ambiental identificado é relativo ao transporte dos cavacos metálicos até a empresa PSA, onde os processos menos impactantes são os da Empresa G e do processo proposto por Dutra et al. (2007), que enviam seus cavacos metálicos limpos, sem a presença de fluido de corte, resíduo não perigoso.

Positivamente foram identificados impactos ambientais benéficos em quase 90% das empresas avaliadas, tais como diminuição do risco de alteração da qualidade da água e do solo e diminuição do uso de recursos naturais através da utilização de matéria-prima reciclada, recuperação do fluido de corte e limpeza primária dos cavacos.

Diante da avaliação econômica realizada, foi possível perceber que os grupos 1 e 4 apresentaram viabilidade na venda dos cavacos metálicos quase limpos ou limpos. Também foram estes mesmos grupos que apresentaram maior investimento com o equipamento para segregação dos cavacos e maior geração deste resíduo. Ou seja, o investimento para limpeza dos cavacos se torna viável para empresas que grande geração deste resíduo. Em caso de pouca geração seria mais viável vende-los para um PSA que faria a limpeza juntamente com os cavacos coletados de outras empresas, aumentando o montante a ser limpo.

Em relação às rotas que as empresas estudadas adotam para destinação ou venda dos cavacos metálicos, esta pesquisa mostrou que é possível reduzir 48% das emissões em um ano apenas mudando a rota e o PSA que recolhe o material.

Diante dos resultados obtidos, observa-se um avanço satisfatório nas ações ambientalmente corretas no setor estudado ao identificar empresas que aplicam conceitos de ecoeficiência e ecoefetividade, apresentando características de fluxo cíclico de materiais para o resíduo estudado. As empresas do grupo 1 e 2 apresentam mais práticas ecoefetivas do que ecoeficientes na gestão dos cavacos metálicos e o grupo 4, representado pelo processo de Dutra et al. (2007) apresenta todos os elementos de ecoefetividade nesta gestão.

As indústrias transformadoras de matérias-primas em produtos manufaturados possuem grande responsabilidade na proteção, manuseio e utilização de recursos naturais. Este trabalho confirma esta afirmação diante da reciclagem dos cavacos metálicos e a respectiva otimização do uso de matérias-primas, resultando em benefício ambiental e econômico.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Sugere-se a investigação da viabilidade ambiental e econômica dos fluidos de corte após vida útil, quando não puder mais ser reciclado dentro das empresas com processo de usinagem.

Também é sugerido uma avaliação do ciclo de vida completa dos cavacos metálicos limpos e briquetados e dos cavacos metálicos limpos vendidos da forma como são gerados, quantificando todos os aspectos e impactos ambientais determinados na cadeia produtiva em questão, assim como o grau.

Realizar uma análise mais completa das empresas da Região Metropolitana de Porto Alegre ou mesmo do estado com ajuda da fundação ambiental do estado a fim de fazer um mapeamento de rotas mais completo.

## REFERÊNCIAS

- AGENDA 21 BRASILEIRA. Ações Prioritárias. **Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional**, p. 160. ISBN: 85-87166-42-5, de 26-02-1997.
- ALIFER, L. L.; KANEVSKAYA, E. N.; IBRAEV, M. B.; ALIKULOVA, D. A.; SKORNAYAKOVA, R. A. Use of chips in melting of brass and bronze for castings. *Chemical and Petroleum Engineering*, v. 24, p. 502-505, 1989.
- ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. 1º. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 192, 2002.
- ALVES, J. L. S.; MEDEIROS, D. D. Eco-efficiency in micro-enterprises and small firms: a case study in the automotive services sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 595 – 602, 2015.
- ASSADOURIAN, E. The path to degrowth in overdeveloped countries. In: WORLDWATCH INSTITUTE. **State of the world 2012: moving sustainable prosperity**. Washington, 2012. p. 22-37.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR ISO 14001: sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 10.004: resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO (BNDES). **Porte de empresa**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Apoio\\_Financeiro/porte.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/porte.html)>. Acesso em: 07 de Julho de 2016.
- BILGIN, A. Analysis of the Environmental Impact Assessment (EIA) Directive and the EIA decision in Turkey. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.l.], v. 53, p. 40-51, 2015.
- BRASIL. **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 12 de Julho de 2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: relatório final**. Brasília, DF: Departamento de Mudanças Climáticas. Gerência de Qualidade do Ar, p. 144, 2011.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Anuário estatístico do setor metalúrgico**. Brasília, DF: Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, p. 108, 2014.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions: a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, [S.l.], v. 15, n. 13-14, p. 1337-1348, 2007.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Remaking the way we make things: cradle to cradle**. Vintage: Random House, p. 208, 2009.

BRINKSMEIER, E.; MEYER, D.; HUERMANN-CORDES, A. G.; HERRMANN, C. Metalworking fluids – Mechanisms and performance. **CIRP Annals – Manufacturing Technology**, v. 64, n. 2, p. 605-628, 2015.

BUREAU OF INTERNATIONAL RECYCLING. **World Steel Recycling in Figures 2011-2015 – Steel Scrap – A Raw Material for Steelmaking**. Disponível em: <https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/2015/World-Steel-in-Figures-2015/document/World%20Steel%20in%20Figures%202015.pdf>. Acesso em: 21 de Junho de 2016.

BYERS, J. P. **Metalworking Fluids**. 2<sup>nd</sup> edition. Taylor & Francis Group. Society of tribologists and Lubrification Engineering, p. 480, 2006.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. **Fundamentals of Material Science and Engineering**. 4<sup>th</sup> edition. John Wiley and Sons, Inc. p. 936, 2013.

CARVALHO, F. P. A.; GOMES, J. M. A. “Eco-eficiência na Produção de Cera de Carnaúba no Município de Campo Maior”, **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, n. 2, p. 421-453, 2008.

CASTILLO-VERGARA, M.; ALVAREZ-MARIN, A.; CARVAJAL-CORTES, S.; SALINAS-FLORES, S. Implementation of a Cleaner Production Agreement and impact analysis in the grape brandy (pisco) industry in Chile. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 110 – 117, 2015.

CASTRO, A. F. D. **Reaproveitamento dos resíduos de usinagem: estudo de caso na indústria automotiva**. 2010. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Escola de Engenharia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, p. 44, 2010.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Implementaçãp de Programas de Produção mais Limpa. **CNTL/SENAI-RS/UNIDO/UNEP**, Porto Alegre, p. 42, 2003.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) CONAMA 403 de 11.11.2008

Confederação Nacional da Indústria, 2013. Perfil da Indústria nos Estados. CNI/SESI/SENAI/IEL; Porto Alegre. <http://perfilestados.portaldaindustria.com.br/>

CHANG, D. S.; KUO, L. R.; C, T. Industrial changes in corporate sustainability performance – an empirical overview using data envelopment analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 56, p. 147-155, 2011.

CHETAN; GHOSH, S.; RAO, P. V. Application of sustainable techniques in metal cutting for enhanced machinability: a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 100, p. 17 – 34, 2015.

COYNE, K. P. Sustainable competitive advantage – What it is, what it isn't. **Business Horizons**, v. 29, n. 1, p. 54-61, 1986.

DAVIS, J.; GEYER, R.; LEY, J.; HE, J.; CLIFT, R.; KWAN, A.; SANSOM, M.; JACKSON, T. Time-dependent material flow analysis of iron and steel in the UK Part 2. Scrap generation and recycling. **Resources Conservation & Recycling**, v. 51, p. 118 – 140, 2007.

DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como artefatos metodológicos para Engenharia de Produção**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

DUTRA, C. R. A.; CALHEIRO, D.; HERTER, M.; FONTANA, W. A.; BREHM, F. A.; MORAES, C. A. M. Reciclagem de cavaco de alumínio contaminado oriundo de processos de usinagem. **III Congresso Internacional do Alumínio**, São Paulo, v. 1, p.555-564, 2007.

FEIL, N. F.; NETO, F. J. K. Produção Conjunta no Processo de Beneficiamento de Carvão Mineral: Custos Conjuntos. **Produto&Produção**, v. 9, n. 2, p. 136 – 152, 2008.

FEPAM - **Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais**. Etapa Rio Grande do Sul, p. 59, 2002.

FOGAGNOLO, J. B.; RUIZ-NAVAS, E. M.; SIMÓN, M. A.; MARTINEZ, M. A. Recycling of aluminium alloy and aluminium matrix composite chips by pressing and hot extrusion. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 143-144, p. 792-795, 2003.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International Journal of Operation Management**, v. 22, n. 2, p. 152 – 194, 2002.

FRATILA, D. Evaluation of near-dry machining effects on gear milling process efficiency. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 839 – 845, 2009.

FU, H.; MATTHEWS, M. A.; WARNER, L. S. Recycling steel from grinding swarf. **Waste Management**, v. 18, p. 321-329, 1998.

FUERTES, A.; CASALS, M.; GANGOLELLS, M.; FORCADA, N.; MACARULLA, M.; ROCA, X. An Environmental Impact Causal Model for improving the environmental performance of construction processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 425 – 437, 2013.

GANGOLELLS, M.; CASALS, M.; FORCADA, N.; MACARULLA, M. Predicting on-site environmental impacts of municipal engineering Works. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 44, p. 43-57, 2014.

GERÊNCIA SETORIAL DE MINERAÇÃO E METALURGIA. **Mercado Mundial de Sucata – Área de operações industriais**. p. 12, 2000.

GIACAGLIA, G. E. O.; GUIMARÃES, E. N. Technological innovation: a machine to produce aluminium chippings briquettes. **Technical Reports**, v. 3, n. 1, Article 2. São Paulo, Brazil, p. 10, 2012

- GIANETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; SILVA, I. R.; ALMEIDA, C. M. V. B. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, p. 1106 – 1117, 2008.
- GOLINSKA, P.; KOSACKA, M.; MIERZWIAK, R.; WERNER-LEWANDOWSKA, K. Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 28-40, 2014.
- GRONOSTAJSKI, J.; CHMURA, W.; GRONOSTAJSKI, Z. Bearing materials obtained by recycling of aluminium and aluminium bronze chips. **Journal of Material Processing Technology**, v. 125-126, p. 483-490, 2002.
- GRONOSTAJSKI, J.; CHMURA, W. Mechanical and Tribological properties of aluminium-base composites produced by the recycling of chips. **Journal of Material Processing Technology**, v. 106, p. 23-27, 2000.
- GRONOSTAJSKI, J. Z.; KACZMAR, J. W.; MARCINIAK, H.; MATUSAK, A. Production of composites from Al and AlMg2 alloy chips. **Journal of Material Processing Technology**, v. 77, p. 37-41, 1988.
- HAAPALA, K. R.; ZHAO, F.; CAMELIO, J.; SUTHERLAND, J. W.; SKERLOS, S. J.; DORNFELD, D. A.; JAWAHIR, I. S.; CLARENS, A. F.; RICKLI, J. L. A Review of Engineering Research in Sustainable Manufacturing. **Journal of Manufacturing Science Engineering**, v. 135, n. 4, p. 16, 2013.
- HAUSCHILD, M. Z. Better – but is it good enough? On the need to consider both eco-efficiency and eco-effectiveness to gauge industrial sustainability. **The 22<sup>nd</sup> CIRP conference on Life Cycle Engineering**, v. 29, p. 1 – 7, 2015.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade**, 2016. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>. Acesso em: 03 de Agosto de 2016.
- IRON AND STEEL STATISTICS BUREAU (ISSB). Disponível em: <http://www.issb.co.uk/global.html>. Acesso em: 04 de Setembro de 2015.
- JACONDINO, G.B. **Quantificação das emissões veiculares através do uso de simuladores de tráfego**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- JAY, S.; JONES, C.; SLINN, P.; WOOD, C. Environmental impact assessment: Retrospect and prospect. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, n. 4, p. 287-300, 2007.
- KHALILI, N. R.; DUECKER, S.; ASHTON, W.; CHAVE, F. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 30-43, 2014.
- KHAMIS, S. S.; LAJIS, M. A.; ALBERT, R. A. O. A Sustainable Direct Recycling of Aluminum Chip (AA6061) in Hot Press Forging Employing Response Surface Methodology.

**12th Global Conference on Sustainable Manufacturing**, Procedia CIRP 26, p. 477-481, 2015.

KIPERSTOK, A. TECNOLOGIAS LIMPAS. Porque não fazer já o que certamente virá amanhã. **Revista Tecbahia**, p. 9, 1999.

LIMA, R. C. S. **Método para posicionamento estratégico sustentável no desenvolvimento de um novo produto**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

LOMBARDI, D. R.; LYONS, D.; SHI, H.; AGARWAL, A. Industrial Symbiosis: testing the Boundaries and Advancing Knowledge. **Journal of Industrial Ecology**. V.16, n.1, p. 2-7, 2012.

LOPES, C.; ANTELO, L. T.; FRANCO-ÚRIA, A.; ALONSO, A. A.; PÉREZ-MARTÍN, R. Valorisation of fish by-product against waste management treatments – Comparison of environmental impacts. **Waste Management**, article in press, 2015.

LUCCI, R.; PADILLA, R. L.; CANTERO, S.; BARILES, R.; OLDANI, C. Refining of AZ91 Magnesium Alloy Obtained in Machining Chips Recycling. **Procedia Materials Science**, v. 8, p. 886-893, 2015.

LUTKEMEYER FILHO, M.G. **Avaliação da aderência aos princípios de sustentabilidade em desenvolvimento de produto à luz de abordagens ecoeficientes e ecoefetivas: uma aplicação no setor automotivo**. 2014. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7 ed. São Paulo: Atlas, p. 297, 2010.

MARQUEZAN, L. H. F.; BRONDANI, G. Análise de Investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, v. 3, n. 1, p. 1 – 15, 2006.

MASSOTE, C. H. R.; SANTI, A. M. M. Implementation of a cleaner production program in a Brazilian wooden furniture factory. **Journal of Cleaner Production**, v. 46, p. 89 – 97, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Estudo da Reciclagem de Metais no País**. Banco Mundial, p. 168, 2009.

MORAES, C. A. M.; SIMON, L.; VARGAS, M. Análise dos Métodos de Reaproveitamento de Cavaco Metálico Contaminado Considerando Abordagens de Ecoeficiência e Ecoefetividade. In: 5th International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, 2015. **Anais...** 2015. p. 1–8.

MORAES, C. A. M.; et al. Avaliação dos Resultados da Implementação de um Programa de Produção mais Limpa em uma Fundição: parte 2 – ganhos econômicos. In: 67 Congresso da ABM, Rio de Janeiro, 2012. **Anais...** 2012. p. 2723 – 2731.

NETO, G. C. O.; CHAVES, L. E/ C.; VENDRAMETTO, O. Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha. **Exacta**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 65 – 80, 2010.

NISP. National Industrial Symbiosis Programe. Disponível em: <  
<http://www.nispnetwork.com/>> Acesso em: 27 mar. 2015.

OLIVEIRA, J. F. G.; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 129 – 138, 2007.

OLIVEIRA, L. D. Coprodutos com potencial econômico no Brasil. In: VI Congresso Internacional e XIII Simpósio sobre Nutrição de Animais de Estimação, São Paulo, 2014. **Anais...** 2014.

**PLANO ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO GRANDE DO SUL – RS**  
2015-2034, Dezembro, p.280, 2014.

PUIG, M.; WOOLDRIDGE, C.; CASAL, J.; DARBRA, R. M. Tool for the identification and assessment of Environmental Aspects in Ports (TEAP). **Ocean & Coastal Management**, v. 113, p. 8 – 17, 2015.

RIGON, V. S. **Aspectos e impactos ambientais durante a fase de execução de uma obra residencial**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

ROCHA, L. K.; MORAES, C. A. M.; BASTOS, K. Relações de simbiose industrial no setor metal-mecânico da bacia do Rio dos Sinos. In: 6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, São Paulo, 2015. **Anais...** 2015. P. 1-9.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental conceitos e métodos**. 2º ed. São Paulo: Oficina de Textos, p. 284, 2011.

SANTOS, M. K.; CURIA, A.; DANILEVICZ, A. M. F.; TUBINO, R. M. C.; Avaliação de Serviços Ambientais para resíduos perigosos do setor metalmeccânico do Rio Grande do Sul. In: 69 Congresso da ABM, São Paulo, 2014. **Anais...** 2014. p. 1–12 .

SCHUMACHER, E. F. **Small is Beautiful**. Economics as if People Mattered. 1º ed. Nova Iorque: Harper and Row, p. 352, 1973.

SEBRAE. **Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa**. 6 ed. São Paulo: Dieese, p. 288, 2014.

SILVA, A. F.; DE FIGUEIREDO, C. F. Reaproveitamento de resíduos de MDF da indústria moveleira, **Revista Design & Tecnologia**, v. 2, p. 1-11, 2010.

SILVESTRE, B. S.; NETO, R. S. Are cleaner production innovations the solution for small mining operations in poor regions? The case of Padua in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 84, p. 809 – 817, 2014.

SOBRAL, R. F. C. **Viabilidade Econômica de Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil: Estudo de Caso da USIBEN** – João Pessoa/PB. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SOUZA, C.P. **Avaliação e valoração dos impactos ambientais no processo de operação de postos revendedores de combustíveis**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SUH, S.; KAGAWA, S. Industrial Ecology and Input-Output Economics: **A Brief History. Handbook of Input-Output Economics in Industrial Ecology**. Springer Science+Business Media B. V., p. 882, 2010.

TORKAR, M.; LAMUT, M.; MILLAKU, A. Recycling of Steel Chips. **Materiali in tehnologije**, v. 44, p. 4-7, 2010.

TORO, J.; DUARTE, O.; REQUENA, I.; ZAMORANO, M. Determining Vulnerability Importance in Environmental Impact Assessment The case of Colombia. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 32, n -, p. 107-117, 2011

TORO, J.; REQUENA, I.; DUARTE, O.; ZAMORANO, M. A qualitative method proposal to improve environmental impact assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 43, n -, p. 9-20, 2013

TOXOPEUS, M.E., de KOEIJERA, B.L.A., MEIJ, A.G.G.H., 2015. Cradle to Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice?. *Procedia CIRP*, 29, 384 – 389 (in **The 22<sup>nd</sup> CIRP conference on Life Cycle Engineering Cradle**).

TREVISAN, M. **Ecologia industrial e as teorias de sistemas institucional, e a dependência de recursos a partir dos atores de um Parque Tecnológico**. 2013. Tese (Doutorado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

VISSER, E. M.; FILHO, D. O.; MARTINS, M. A.; STEWARD, B. L. Bioethanol product potential from Brazilian biodiesel co-products. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 489 – 494, 2011.

VON HOHENDORFF, E. C. S.; JUNIOR, E. F. T. Análise dos métodos de decantação e centrifugação para a retirada de óleo nos cavacos de ferro fundido e latão resultantes da usinagem de peças. **I Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, 2007.

WEIDEMA, B. P. System expansions to handle co-products of renewable materials. In: 7<sup>th</sup> LCA Case Studies Symposium SETAC, Europa, 1999. **Anais...** 1999. p. 45 – 48.

WOTTRICH, B. Modelo para a análise econômica e financeira em projetos de geração distribuída de energia com fontes alternativas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Medir a eficiência – um guia para comunicar o desempenho da empresa. 2000. Disponível em: <http://oldwww.wbcds.org/web/publications/measuring-eco-efficiency-portugese.pdf>. Acesso em: 05 de Dezembro de 2014.

XIAO, Y.; REUTER, M.A. Recycling of distributed aluminium turning scrap. **Minerals Engineering**. 15, p. 963-970, 2002.

ZAFEIRAKOPOULOS, I. B.; GENEVOIS, M. E. An Analytic Network Process approach for the environmental aspect selection problem – A case study for a hand blender. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 54, p. 101 - 109, 2015.

ZENG, S. X.; MENG, X. H.; YIN, H. T.; TAM, C. M.; SUN, L. Impact of cleaner production on business performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 975 – 983, 2010.

ZHANG, H.; HAAPALA, K. R. Integrating sustainable manufacturing assessment into decision making for a production work cell. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 52 – 63, 2014.

**APÊNDICE A – OFÍCIO**

Of. nº PPGEC 02/2016

São Leopoldo, 04 de janeiro de 2016.

A/C

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER - RS  
DIRTEC - Diretoria Técnica da  
FEPAM Rafael Volquind – Diretor  
Técnico Porto Alegre – RS  
Assunto: Solicitação de Dados

Prezado Senhor,

A aluna *Luísa Simon*, número de matrícula 1105264, estudante de mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, está desenvolvendo sua pesquisa intitulada *Avaliação Ambiental e Econômica do Processo de Limpeza e Reutilização do Cavaco Metálico Contaminado com Fluido de Corte*. De acordo com a Lei Federal Nº 10.650, de 16 de Abril de 2003, a qual dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama, e a fim de dar continuidade na pesquisa, a aluna necessita a obtenção de dados de empresas do setor *metalmecânico/metalúrgico*, conforme dados abaixo com o objetivo de quantificar as empresas que geram cavacos metálicos ferrosos e não ferrosos contaminados com fluidos de corte oriundos do processo de usinagem.

CODRAM:

- 1.110,10 – Fabricação de aço e produtos siderúrgicos
- 1.110,20 – Fabricação de outros metais e suas ligas
- 1.111,10 – Fabricação de laminados ligas artefatos de metais não ferrosos
- 1.111,20 – Relaminação de metais não ferrosos, inclusive ligas
- 1.112,10 – Produção de fundidos de ferro e aço forjados arames relaminados
- 1.112,21 – Produção de fundidos de alumínio
- 1.121,10 - Fabricação de estruturas artefatos recipientes outros metálicos, com tratamento de superfície e com pintura
- 1.121,20 - Fabricação de estruturas artefatos recipientes outros metálicos, com tratamento de superfície e sem pintura
- 1.121,30 - Fabricação de estruturas artefatos recipientes outros metálicos, sem tratamento de superfície e com pintura (exceto a pincel)
- 1.121,40 - Fabricação de estruturas artefatos recipientes outros metálicos, sem tratamento de superfície e com pintura a pincel
- 1.121,50 - Fabricação de estruturas artefatos recipientes outros metálicos, sem tratamento de superfície e sem pintura
- 1.123,10 – Funilaria, estamparia e latoaria, com tratamento de superfície e com pintura
- 1.123,20 - Funilaria, estamparia e latoaria, com tratamento de superfície e sem pintura
- 1.123,30 - Funilaria, estamparia e latoaria, sem tratamento de superfície e com pintura (exceto a pincel)
- 1.123,40 - Funilaria, estamparia e latoaria, sem tratamento de superfície e com pintura a pincel
- 1.123,50 - Funilaria, estamparia e latoaria, sem tratamento de superfície e sem pintura
- 1.124,20 - Fabricação de telas de arame e artefatos de aramados, com tratamento de superfície e sem pintura
- 1.124,30 - Fabricação de telas de arame e artefatos de aramados, sem tratamento de superfície e com pintura (exceto a pincel)
- 1.124,40 - Fabricação de telas de arame e artefatos de aramados, sem tratamento de superfície e com pintura a pincel
- 1.124,50 - Fabricação de telas de arame e artefatos de aramados, sem tratamento de superfície e sem pintura
- 1.125,10 - Fabricação de artigos de cutelaria e ferramentas manuais, com tratamento de superfície e com pintura
- 1.125,20 - Fabricação de artigos de cutelaria e ferramentas manuais, com tratamento de superfície e sem pintura
- 1.125,30 - Fabricação de artigos de cutelaria e ferramentas manuais, sem tratamento de superfície e com pintura (exceto a pincel)

- 1.125,40 - Fabricação de artigos de cutelaria e ferramentas manuais, sem tratamento de superfície e com pintura a pincel
- 1.125,50 - Fabricação de artigos de cutelaria e ferramentas manuais, sem tratamento de superfície e sem pintura
- 1.140,00 - Recuperação de embalagens metálicas e plásticas de produtos ou resíduos não perigosos
- 1.141,00 - Recuperação de embalagens metálicas e plásticas de produtos ou resíduos perigosos
- 3.011,00 - Serviços de usinagem
- 3.012,00 - Serviços de tornearia ferraria serralheria
- 3.013,10 - Limpeza restauração de equipamentos com tratamento de superfície e ou tratamento térmico
- 3.013,20 - Limpeza restauração de equipamentos sem tratamento de superfície e ou tratamento térmico
- 3.020,00 - Fabricação de artefatos de tecido e metal sem tratamento de superfície
- 1.210,10 - Fabricação de maquinas e aparelhos, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e com pintura
- 1.210,20 - Fabricação de maquinas e aparelhos, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e sem pintura
- 1.210,30 - Fabricação de maquinas e aparelhos, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e sem pintura
- 1.210,40 - Fabricação de maquinas e aparelhos, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e com pintura
- 1.210,50 - Fabricação de maquinas e aparelhos, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e com pintura
- 1.210,60 - Fabricação de maquinas e aparelhos, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e com pintura
- 1.210,70 - Fabricação de maquinas e aparelhos, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e sem pintura
- 1.210,80 - Fabricação de maquinas e aparelhos, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e sem pintura
- 1.220,10 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e com pintura
- 1.220,20 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e sem pintura
- 1.220,30 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e sem pintura
- 1.220,40 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e com pintura
- 1.220,50 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e com pintura
- 1.220,60 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e com pintura
- 1.220,70 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e sem pintura
- 1.220,80 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e sem pintura
- 1.221,00 - Fabricação de utensílios, peças e acessórios, com microfusão
- 1.222,10 - Fabricação de autopeças motopeças, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e com pintura
- 1.222,20 - Fabricação de autopeças motopeças, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e sem pintura
- 1.222,30 - Fabricação de autopeças motopeças, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e sem pintura
- 1.222,40 - Fabricação de autopeças motopeças, com tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e com pintura
- 1.222,50 - Fabricação de autopeças motopeças, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e com pintura
- 1.222,60 - Fabricação de autopeças motopeças, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e com pintura
- 1.222,70 - Fabricação de autopeças motopeças, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, com fundição e sem pintura
- 1.222,80 - Fabricação de autopeças motopeças, sem tratamento superfície inclusive tratamento térmico, sem fundição e sem pintura
- 1.224,00 - Fabricação de chassis para veículos automotores

Dentre os CODRAM citados acima, necessita-se dos dados nome, localização, razão social, CNPJ, produção mensal, geração de quais resíduos, sua classificação, quantidades geradas e a respectiva destinação dos mesmos somente das empresas da Região Metropolitana de Porto Alegre<sup>1</sup> que gerem os seguintes CODRES:

Período de abrangência dos dados solicitados: ano de 2015, 2014 e 2013.

A0050 – Sucata de metais não-ferrosos

A0040 – Sucata de metais ferrosos

F0031 – Material contaminado com óleo

F0032 – Óleo de corte e usinagem

K0070 – Pós metálicos

<sup>1</sup> Municípios da Região Metropolitana de Porto Alegre: Alvorada, Araricá, Arroio dos Ratos, Cachoeirinha, Campo Bom, Canoas, Capela de Santana, Charqueadas, Dois Irmãos, Eldorado do Sul, Estância Velha, Esteio, Glorinha, Gravataí, Guaíba, Igrejinha, Ivoti, Montenegro, Nova Hartz, Nova Santa Rita, Novo Hamburgo, Parobé, Portão, Porto Alegre, Rolante, Santo Antônio da Patrulha, São Jerônimo, São Leopoldo, São Sebastião do Caí, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Taquara, Triunfo, Viamão.

Desde já agradecemos a atenção e colaboração.



Carlos Alberto Mendes Moraes  
Orientador da aluna  
Decano da Escola Politécnica Unisinos



Luciana Paulo Gomes  
Coordenadora do SGA Unisinos  
Coordenadora do PPGEC Unisinos



## APENDICE B - QUESTIONÁRIO

# Levantamento da geração de cavacos metálicos do setor metalmecânico e metalúrgico

Este questionário tem como objetivo o levantamento de dados da geração e destinação de cavacos metálicos contaminados com fluido de corte oriundos do processo de usinagem a fim de alcançar três metas como resultado:

- a. mapear as rotas de processamento/beneficiamento dos cavacos contaminados com fluido de corte;
- b. avaliar a gestão ambiental relacionada às rotas;
- c. propor oportunidades de melhoria na gestão dos cavacos.

Este questionário tem o intuito de contribuir para a pesquisa de caráter científico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), mais especificamente para a dissertação de mestrado da aluna Luísa Simon intitulada "Avaliação ambiental e econômica do processo de limpeza e reciclagem do cavaco metálico contaminado com fluido de corte", orientada pelo Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes e coorientada pela Profa. Dra. Regina Celia Espinosa Modolo.

Cabe ressaltar que nenhuma empresa será identificada, de modo que seus nomes ficarão sob sigilo e nomeadas com letras em ordem alfabética.

### Responsável pela elaboração do questionário

Mestranda: Luísa Simon

E-mail: [luisa.zsimon@gmail.com](mailto:luisa.zsimon@gmail.com)

Tel: 51 5591-1122 ramal 1769

### Dados gerais

Esta seção abrange dados gerais de identificação da empresa.

1. Razão social da empresa:
2. Nome fantasia:
3. Município:
4. Ano de fundação da empresa:
5. A empresa possui processo de usinagem?  
 Sim  
 Não. Se a resposta for "não" você não precisa continuar respondendo este questionário. Pode submeter agora. Obrigada pela atenção dispensada.
6. Qual o número de funcionários da sua empresa?  
 Até 19 pessoas  
 De 20 a 99 pessoas  
 De 100 a 499 pessoas  
 500 pessoas ocupadas ou mais
7. Qual a receita bruta anual da sua empresa?  
 Menor ou igual a R\$ 2,4 milhões  
 Maior que R\$ 2,4 milhões e menor ou igual a R\$ 16 milhões

- Maior que R\$ 16 milhões e menor ou igual a R\$ 90 milhões
- Maior que R\$ 90 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões
- Maior que R\$ 300 milhões

8. Qual a área útil da sua empresa em m<sup>2</sup>?

- Até 250
- De 250,01 até 2000
- De 2000,01 até 10000
- De 10000,01 até 40000
- Acima de 40000

9. A empresa possui Licença Ambiental de Operação?

- Sim
- Não

10. A empresa possui Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos?

- Sim
- Não

11. A empresa possui Sistema de Gestão Ambiental (SGA)?

- Sim
- Não

12. A empresa possui a certificação ISO 14001?

- Sim
- Não

## Dados sobre mercado e produção

Esta seção aborda dados sobre a produção e os tipos de mercado que a empresa atende, clientes e fornecedores.

13. Qual o segmento de mercado da empresa e/ou das principais empresas clientes? Ex: automotivo, agrícola, construção civil, automação industrial, setor energético, fundição siderúrgica...

---

14. Qual(is) material(is) é(são) usado(s) em sua empresa? Marque a(s) resposta(s) que se adaptam à sua empresa. Caso tenha outro material que não está citado, escreva na opção "outros".

- Aço carbono
- Aço de baixa liga
- Aços inoxidáveis
- Ferro fundido
- Ligas de alumínio
- Bronze
- Latão
- Ligas de zinco
- Outro:

15. Em quais municípios se localizam seus principais fornecedores de matéria-prima para usinagem? Ex: Liga de Alumínio, cidade Porto Alegre, RS. Aço, cidade Curitiba, PR.

---

16. Em quais municípios se localizam seus principais clientes de peças/produtos usinados? Ex: Produtos em Ligas Alumínio, cidade Porto Alegre, RS. Produtos em Aço, cidade Curitiba, PR.

---

17. Seus clientes retornam os produtos (de pós-consumo\*) oriundos de sua fábrica para reciclagem ou destino adequado (Logística Reversa\*\*)? \*Produtos de pós-consumo - aqueles que serão descartados após uso. \*\*Logística Reversa (Instrumento de gerenciamento de resíduos sólidos de acordo com a Lei 12305/2010.)

Sim (Se a resposta for "sim", utilize também a opção "outro" para escrever quais produtos específicos retornam.)

Não

Outro:

### Dados sobre o(s) processo(s) de usinagem

Esta seção dedica-se a informações sobre o processo de usinagem, tipo de fluidos de corte utilizados e gestão dos resíduos do processo.

18. O(s) processo(s) de usinagem utilizado(s) é(são) a seco ou a úmido?

Seco

Úmido

Ambos

19. Caso o processo seja a úmido, qual(is) tipo(s) de fluido de corte é(são) utilizado(s)?

---

20. A empresa busca melhorias no processo para reduzir na fonte desperdício de materiais?

Utiliza mínima quantidade de resíduo

Equipamentos que façam a usinagem com maior precisão evitando o sobremetal

Toma cuidados para evitar a contaminação do fluido de corte, tais como: limpeza da máquina; remoção de vazamentos que podem contaminar com óleo lubrificante da máquina; coleta os cavacos em bandejas ou outras medidas para não gerar resíduos de varrição.

Outro:

21. A empresa possui processo de segregação entre o cavaco e o fluido de corte após processo de usinagem?

Sim

Não

22. Caso a resposta acima seja afirmativa, marque a(s) opção(ões) referente(s) ao processo de segregação.
- Filtragem
  - Centrifugação
  - Separação por gravidade (tipo escoamento em plano inclinado)
  - Outro:
23. Caso a empresa usine mais de um tipo de liga metálica, os cavacos gerados de diferentes ligas são acondicionados separadamente? Se a resposta for "não", utilize também a opção "outro" para descrever quais ligas são acondicionadas juntas.
- Sim
  - Não
  - Outro:
24. Qual a gestão do fluido de corte total (retirado do equipamento + segregado) é utilizada? Marque a(s) alternativa(s) que se enquadram na realidade de sua empresa. Caso tenha outra gestão que não esta citada, escreva na opção "outro".
- Recupera e recicla internamente
  - Envia para rerrefino
  - Envia para descarte em aterro industrial
  - Evaporação a vácuo
  - Ultrafiltração
  - Outro:
25. Qual a destinação final dada aos cavacos pela empresa? Marque a(s) alternativas que se enquadram na realidade de sua empresa.
- Aterro industrial
  - Empresa de comercialização de sucatas
  - Empresa que funde o material para uso próprio
  - Empresa que funde o material para revenda como matéria-prima
  - Outro:
26. Caso a resposta da pergunta anterior seja "empresa que funde o material para revenda como matéria-prima" assinale a(s) resposta(s) mais adequada(s).
- O metal retorna como matéria-prima para sua empresa
  - O metal não retorna como matéria-prima para sua empresa
27. Qual a quantidade média de cavaco gerada mensalmente na empresa (t/mês)?  
Ex: 2 t/mês de ligas de alumínio e 0,5 t/mês de aço
- 
28. Qual o custo ou o valor de venda com a destinação dos cavacos (R\$/t)? Ex:  
R\$500,00/t de ligas de alumínio e R\$500,00/t de alumínio de aço

## APÊNDICE C – CÁLCULO DO CARBONO EQUIVALENTE PARA AS 16 ROTAS – VALORES REAIS

Empresa A:

Rota 1

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 31,9] / 200 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0094 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

Rota 2

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 21,2] / 200 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0063 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

Rota 3

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 8,3] / 350 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0014 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

Empresa B:

Rota 4

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 15,4] / 50 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0182 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

Rota 5

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 49,7] / 50 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0588 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

Rota 6

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 26,1] / 50 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0308 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

Empresa C:

Rota 7

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 14,1] / 200 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2\text{Eq transporte} = 0,0042 \text{ kg CO}_2\text{Eq/kg cavaco}$$

## Rota 8

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 11] / 200 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0033 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

## Empresa D:

## Rota 9

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 36,2] / 2.600 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0008 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

## Empresa E:

## Rota 10

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 56,8] / 8.930 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0004 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

## Rota 11

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 80,7] / 70 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0682 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

## Empresa F:

## Rota 12

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 6,2] / 30 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0122 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

## Empresa G:

## Rota 13

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 7,6] / 300 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0015 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

## Empresa H:

## Rota 14

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km}^3) + (0,0002 \text{ kg/km}^3 * 280)) * 8,5] / 6500 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0001 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

Rota 15

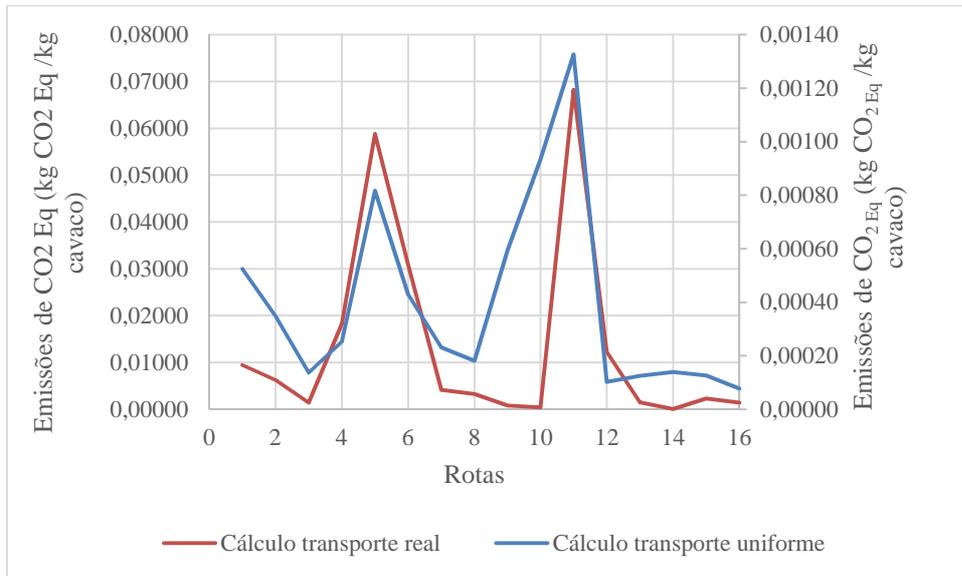
$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 7,7] / 200 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0023 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$

Rota 16

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = [((0,00106 \text{ kg/km} \cdot 3) + (0,0002 \text{ kg/km} \cdot 280)) \cdot 4,7] / 200 \text{ kg}$$

$$\text{Emissões CO}_2 \text{Eq transporte} = 0,0014 \text{ kg CO}_2 \text{Eq/kg cavaco}$$



**Figura 21 – Comparativo entre as emissões de CO<sub>2</sub>eq entre os dados uniformizados de transporte e os dados reais informados pelas empresas**



**APÊNDICE D – ARTIGO PUBLICADO NO 5<sup>TH</sup> WORKSHOP | ADVANCES IN  
CLEANER PRODUCTION**

# ANÁLISE DE MÉTODOS DE REAPROVEITAMENTO DE CAVACO METÁLICO CONTAMINADO CONSIDERANDO ABORDAGENS DE ECOEFICIÊNCIA E ECOEFETIVIDADE

MORAES, C. A. M. <sup>a,b\*</sup>, SIMON, L. <sup>a,b</sup>, VARGAS, M. <sup>a,b</sup>

*a. Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo*

*b. PPG – Engenharia Civil - Núcleo de Caracterização de Materiais - NucMat*

*\*Carlos Alberto Mendes Moraes, cmoraes@unisinis.br*

---

## Resumo

A legislação brasileira em vigor prevê que a destinação correta dos resíduos sólidos industriais é obrigação do gerador. Porém, devido ao desconhecimento ou ausência de profissionais da área ambiental nas empresas, esta temática se torna uma das principais dificuldades encontradas, tendo em vista que o processo produtivo gera, na maior parte das vezes, resíduos e impactos ambientais, os quais não recebem a devida atenção. Entretanto, se analisado sob nova ótica, estes resíduos podem ser aproveitados como uma fonte alternativa para aumentar a ecoeficiência e como um objeto maior a ecoefetividade, reduzindo os impactos, aumentando a eficiência econômica e ambiental e contribuindo para a sustentabilidade. O setor metal-mecânico igualmente enfrenta a problemática do gerenciamento ambiental, precisando adaptar com urgência ao processo produtivo, tecnologias inovadoras que ajam com o intuito de alcançar a sustentabilidade. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a ecoeficiência e ecoefetividade dos métodos empregados na limpeza de cavacos metálicos contaminados com fluido de corte de empresas metalúrgicas. Desta forma, foi feito um estudo sobre a reutilização do cavaco de alumínio, analisando os métodos de limpeza utilizados, a eficiência do método, a destinação caso não possível reutilizar e avaliado dentro das características citadas, qual o mais ecoeficiente e/ou ecoefetivo. Esta avaliação foi realizada por critérios identificados na literatura, ao qual é possível avaliar métodos como ecoeficientes e ecoefetivos. Na prática foram encontrados somente métodos ecoeficientes e, entre estes, alguns com práticas ecoefetivas. Os resultados evidenciam que a cultura de reparar, reutilizar, reciclar e destinar, ao invés de promover ações como a remodelagem de um sistema produtivo em ciclo fechado onde não há geração de resíduos é ainda mais prático e realístico atualmente. Porém, é evidente que os princípios ecoeficientes e ecoefetivos melhoram o desempenho ambiental das empresas, diminuindo gastos com despesas para insumos, matéria-prima e destinação dos resíduos, além de contribuir para atingir maiores níveis de sustentabilidade.

*Palavras-chave: Ecoefetividade; Ecoeficiência; Metalurgia; Cavacos Metálicos;*

## Analysis of metal chip recycling methods contaminated considering approaches to eco-efficiency and eco-effectiveness

### Abstract

The Brazilian law requires that proper disposal of industrial solid waste is mandatory of the generator. However, due to ignorance or lack of professionals in the environmental area on business, this issue becomes one of the main difficulties encountered in order that the manufacturing process generates, in most cases, waste and environmental impacts, which do not receive the due attention. In other hand, this waste can be utilized as an alternative source to increase eco-efficiency and as a larger object to eco-effectiveness, reducing the impacts, increasing the economic and environmental efficiency and contributing to sustainability. The metal-mechanical sector also faces the problem of environmental management, need urgently adapt to the production process, innovative technologies to act in order to achieve sustainability. Thus, the aim of this study is to evaluate the eco-efficiency and eco-effectiveness of the methods used in the cleaning of metallic chips contaminated with cutting fluid metallurgical enterprises. So, a study on the reuse of aluminum chips was done by analyzing

the cleaning methods used, the method efficiency, the allocation if cannot be reused and evaluated within the aforementioned characteristics, which is the most eco-efficient and/or eco-effective. This review was performed by criteria identified in the literature, to which you can evaluate methods as eco-efficient and eco-effective. In practice found only eco-efficient methods, and among them, some with eco-effective practices. The results show that the culture of repair, reuse, recycle and intended instead to promote actions such as the remodeling of a production system in a closed cycle where no waste generation is now even more practical and realistic. Nonetheless, it is clear that eco-efficient and eco-effective principles improve the environmental performance of companies, reducing expenses related costs for inputs, raw materials and disposal of waste, and contribute to achieve higher levels of sustainability.

*Key-words: Eco-efficiency; Eco-effectiveness; Metallurgy; Metallic Chips;*

---

## **1. Introdução**

O setor metal-mecânico apresenta expressiva importância no cenário econômico brasileiro, com vasta cadeia produtiva de segmentos ligados à metalurgia, usinagem e produção de manufaturados metálicos, sendo base para atividades relevantes, como indústria automobilística, construção civil e bens de capital. O uso do aço se diversifica a cada dia na sociedade moderna, deixando de ser apenas um insumo para se tornar a parte principal de grandes projetos.

Com o avanço da produção do aço, alumínio, cobre, entre outros metais e ligas, o processo produtivo sofreu uma série de mudanças tecnológicas, com intenso impacto econômico, social e ambiental. As atividades do setor metalúrgico estão fortemente associadas ao progresso desenfreado, não levando em consideração a sustentabilidade ambiental, degradando recursos e gerando resíduos, causando assim impactos ambientais.

A geração de resíduos tem se tornado um desafio para a gestão de empresas, pois além de perder insumo e matéria orgânica na "geração" do resíduo, o descarte ambientalmente correto se torna uma problemática devido aos altos custos e aos impactos ambientais associados.

As práticas comuns encontradas no setor metal-mecânico referem-se principalmente à remediação e tratamento depois do resíduo ser gerado (ecoeficiência), ao invés de desenvolver técnicas para melhoria do processo produtivo no intuito de evitar a geração de resíduos, otimizando processos e melhorando o aproveitamento de matéria prima e energia (ecoefetividade).

A ecoeficiência, conceito utilizado pelo *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) é associada ao impacto dos negócios no ambiente, ao qual se reduz os impactos ambientais e aumenta o uso dos recursos naturais. Porém, diferentemente da ecoefetividade, não envolve alterações no processo produtivo no intuito de garantir maior durabilidade e contribuir para que haja um sistema fechado de reciclagem, no qual o produto final retorna ao seu estado inicial, ou quando descartado, se degrada ou não contamina o meio ambiente.

Num contexto maior de mudança de conceito em relação ao sistema industrial atual, que utiliza produtos tóxicos em sua cadeia produtiva, sem a preocupação de utilizar materiais ecologicamente corretos e processos que permitam a reutilização do resíduo, ao invés do descarte; este artigo tem a finalidade de analisar os métodos de reaproveitamento de cavaco de alumínio, proveniente do processo de usinagem mecânica e considerado, de acordo com a legislação vigente, resíduo perigoso para descarte por estar contaminado com fluido de corte, como ecoeficientes ou ecoefetivos.

## **1. Revisão Bibliográfica**

### *1.1 A sustentabilidade e a competitividade empresarial*

A sustentabilidade ambiental pode ser entendida como a manutenção da capacidade de sustentação dos ecossistemas, o que implica na capacidade de absorção e recomposição destes em face das interferências antrópicas.

O papel das empresas como agentes sociais no processo de desenvolvimento sustentável é imprescindível, sendo que em determinados segmentos industriais, principalmente no setor metalúrgico, é necessário ir mais além, adotando estratégias inovadoras, nas quais a integração entre as estratégias ambientais e de negócio são fundamentais, sob pena de ficarem ultrapassadas em relação aos seus concorrentes (CARDOSO, 2004). Desta forma, as empresas se apropriam do uso de ferramentas de implementação da gestão ambiental, para alcançarem vantagens competitivas demandadas pelo mercado.

### *1.2 Ecoeficiência e ecoefetividade*

A ecoeficiência para Carvalho e Gomes (2008) apresenta-se como um significativo avanço na área ambiental, contribuindo para uma sociedade sustentável. A ecoeficiência auxilia as empresas no crescimento qualitativo principalmente, promovendo mais serviço, benefício e valor, em lugar de transformar mais materiais em energia e desperdício. A adoção de princípios ecoeficientes melhora, ainda, a qualidade de vida das pessoas ao reduzir a poluição ambiental e gerar produtos de qualidade superior.

Sistema ecoeficiente é aquele caracterizado pela capacidade de produzir mais e melhor, utilizando menos recursos e diminuindo a geração de resíduos. Stephan Schmidheiny, fundador do WBCSD (2014), definiu ecoeficiência como o melhor termo para exprimir eficiência econômica e ambiental. Ecoeficiência vem sendo disseminada como um instrumento de mensuração e avaliação de desempenho empresarial e que desperta maior atenção por parte dos governos e sociedades.

A ecoeficiência visa, portanto, a produção sustentável de bens e serviços para a sociedade, agregada de valor, não pela ampliação do consumo de recursos naturais, mas sim, pela sua redução e, minimização ou eliminação da geração de qualquer tipo de poluição e tem sido bem aceito por grande parte dos empresários.

A definição de ecoeficiência como uma filosofia de gestão que habilita a busca por melhorias no desempenho ambiental e, em paralelo, na rentabilidade dos negócios, é composta por três grandes objetivos: (a) redução do consumo de recursos; (b) redução do impacto na natureza e, (c) aumento do valor do produto ou serviço (WBCSC, 2014).

Confome Lutkemeyer (2014), a obtenção de tais objetivos é suportada pela entrega de produtos que satisfaçam as necessidades humanas e melhorem a qualidade de vida, ao mesmo tempo em que demanda de recursos naturais é balanceada de acordo com a capacidade regenerativa do planeta.

Os sete elementos da ecoeficiência para Almeida (2002) são: a) redução do consumo de materiais com bens e serviços; b) redução do consumo de energia com bens e serviços; c) redução da emissão de substâncias tóxicas; d) intensificação da reciclagem de materiais; e) maximização do uso sustentável de recursos renováveis; f) prolongamento da durabilidade dos produtos; g) agregação de valor aos bens e serviços. Sendo que, a redução, um dos elementos centrais da ecoeficiência, não altera o fluxo linear do consumo de recursos e ignora os efeitos de longo prazo sobre os ecossistemas naturais (BRAUNGART e MCDONOUGH, 2007, 2009). O conceito de redução demonstra ser apropriado para sistemas produtivos tornarem-se "menos destrutivo", pois permitem desacelerar o esgotamento dos recursos naturais.

Apesar de bem intencionada, a ecoeficiência não propõe, em longo prazo, mudanças profundas o suficiente na produção industrial (BRAUNGART e MCDONOUGH 2007). De acordo com Silva e Figueiredo (2010), o objetivo das abordagens ecoefetivas é de manter os fluxos de materiais em ciclos fechados, estimulando o design em harmonia com os sistemas naturais, fluindo em ciclos fechados possibilitando o fluxo de materiais do berço ao berço (LUTKEMEYER, 2014). Esta abordagem parte do princípio de que a indústria seja regenerativa e não destrutiva, e que, a partir de uma lógica de desenvolvimento de produtos sustentáveis, sistemas de produção operem por meio de ciclos fechados de materiais.

A ecoefetividade propõe ao sistema industrial, através de analogias biológicas, estratégias que visam otimizar o ciclo de materiais, da matéria virgem ao produto final, eliminando a disposição de resíduos. Braungart e McDonough (2009) propõem cinco passos para que se possa alcançar a ecoefetividade: a) ausência de produtos tóxicos conhecidos; b) escolha de matérias-primas menos agressivas ao meio ambiente e ao ser humano; c) inovação na escolha de matérias-primas com menor impacto social e ambiental, d) atendendo a função inicial; e) busca por ser bom e não pelo menos ruim, e reinventar para garantir efeitos reais e positivos para o meio ambiente.

Assim, de acordo com Lutkemeyer (2014), a Tabela 1 traça elementos que atribuem características para as abordagens ecoefetivas e ecoeficientes.

Tabela 1 – Características entre ecoeficiência e ecoefetividade. Fonte: Adaptado de Lutkemeyer (2014)

	ECOEICIENTE	ECOELETIVO
ORIENTAÇÃO	Tende a promover ações com resultados de curto prazo	Tende a promover ações com resultados de longo prazo
PARADIGMA	Redução e minimização (berço ao túmulo)	Resíduo = nutriente (berço ao berço)
PRESSUPOSTOS	Fluxo linear de materiais	Fluxo cíclico de materiais
INOVAÇÃO	Tende a ser incremental	Tende a ser radical
VISÃO DE NEGÓCIOS	Aumenta a longevidade do uso dos produtos (reparo, reuso, remanufatura, reciclagem)	Venda de atributos de desempenho e utilidade ao invés da simples venda do produto; novos modelos de negócio

### 1.3 Resíduos da metalurgia e métodos de reaproveitamento

As práticas comuns encontradas no setor metal-mecânico referem-se principalmente a remediação e tratamento depois do resíduo ser gerado (ecoeficiência), ao invés de desenvolver técnicas para melhoria do processo produtivo no intuito de evitar a geração de resíduos, otimizando processos e melhorando o aproveitamento de matéria prima e energia (ecoefetividade).

No Brasil não existe um levantamento da quantidade de cavaco de alumínio e fluidos de corte utilizados pelas indústrias, não existindo assim, controle legal das quantidades utilizadas, da disposição final, do transporte e dos planos de emergência em casos de acidentes e/ou derrame do produto (KLOCKE e SCHINEIDER apud QUEIROZ, 1998).

Grande parte das indústrias (principalmente as de pequeno porte), não se responsabilizam pela disposição ambientalmente correta dos cavacos e dos fluidos de corte, vendendo parte destes resíduos para recuperadores e recicladores. Porém, nem todos compradores estão preparados para o correto manuseio destes resíduos, em decorrência disto, disposição em locais inadequados pode ocorrer, tendo como consequência uma enorme agressão ao ambiente (DANDOLINE, 2001).

Dentre os principais impactos destacados sobre a disposição dos cavacos metálicos contaminados com fluido de corte estão: alteração da qualidade do ar, uso de recurso natural não renovável, risco de contaminação da água e do solo, efeito estufa e ocupação em aterro. Para evitar estes impactos, a solução ideal é a criação de métodos de reaproveitamento enquadrados em práticas ecoefetivas.

#### *1.4 Método de reaproveitamento com abordagem ecoefetiva*

Uma nova metodologia para limpeza de cavacos metálicos contaminados com fluido de corte sem geração de gases tóxicos, onde os princípios do programa de produção mais limpa foram base para minimizar a geração de resíduos e ainda gerar ganhos econômicos no processo desenvolvido, representando economia de quatro vezes em relação à compra da matéria prima em placas, foi desenvolvido por Dutra et al. (2009).

O método consiste em lavar com um reagente químico o resíduo de cavaco metálico. Após a lavagem, o cavaco é separado do efluente através de filtração. O cavaco limpo é encaminhado para um processo de secagem em estufa, cuja importância é evitar que os cavacos sofram oxidação devido a umidade, diminuindo a eficiência de recuperação do alumínio. Posteriormente a secagem, é feita a compactação para aumentar a área superficial, facilitando a fusão e reduzindo o volume e aumentando a eficiência de fusão.

A total remoção do óleo do resíduo, o alto grau de limpeza do reagente pelo processo de destilação e a usinabilidade do alumínio refundido (sem geração de fuligem e escória) muito próximo das ligas comerciais comumente utilizadas compõem os resultados obtidos neste processo. (DUTRA et. al, 2007)

## **2. Materiais e Métodos**

A aplicação do trabalho foi realizada em três etapas distintas:

- i. em estudos anteriores foi feito a análise de métodos de reaproveitamento de resíduos de cavaco metálicos e escolhido o método considerado mais ecoefetivo para ser utilizado como o método controle. Para este trabalho, a metodologia escolhida e aplicada foi o protótipo descrito acima, projetado e executado por Dutra et al [9];
- ii. diagnóstico do reaproveitamento in loco de resíduos de cavaco de alumínio em três empresas situadas em Porto Alegre - RS, do ramo metal-mecânico que possuem o mesmo tipo de resíduo para comparação dos métodos empregados. Os dados coletados apresentados foram obtidos através de abordagem qualitativa ao Sistema de Gerenciamento Ambiental das empresas estudadas, cujas denominações sociais declinam-se a revelar devido às políticas de segurança e privacidade adotadas pelas empresas. Para este trabalho, as empresas foram denominadas de Empresa A, Empresa B e Empresa C. Cabe ressaltar que a não revelação dos nomes não comprometeu a segurança dos dados ou o desenvolvimento e veracidade deste trabalho;
- iii. análise das diferentes práticas apresentadas pelas empresas "A", "B" e "C" para o reaproveitamento do resíduo de cavaco metálico, identificando as abordagens ecoefetivas e ecoeficientes em cada método e posteriormente avaliação e comparação dos métodos em relação ao método controle.

### 3. Resultados

A partir das informações obtidas na revisão bibliográfica sobre os métodos de reaproveitamento, foi realizada a identificação das abordagens como ecoeficientes e/ou ecoefetivas. O processo adotado como controle, de Dutra et. al (2009), enquadra-se na abordagem ecoefetiva, uma vez que tende a promover ações com resultados de longo prazo e considera o resíduo como nutriente, conforme proposto por Braungart e McDonough (2009). Outro aspecto considerado pelos autores e identificado no processo controle é o fluxo cíclico de materiais, ao qual o metal limpo pode livremente voltar ao processo produtivo com características de matéria prima, identificando-se como inovação radical.

Os resultados obtidos pelas empresas podem ser melhores visualizados na tabela 2.

Tabela 2 – Coleta de dados nas empresas entrevistadas. Fonte: Os autores (2015)

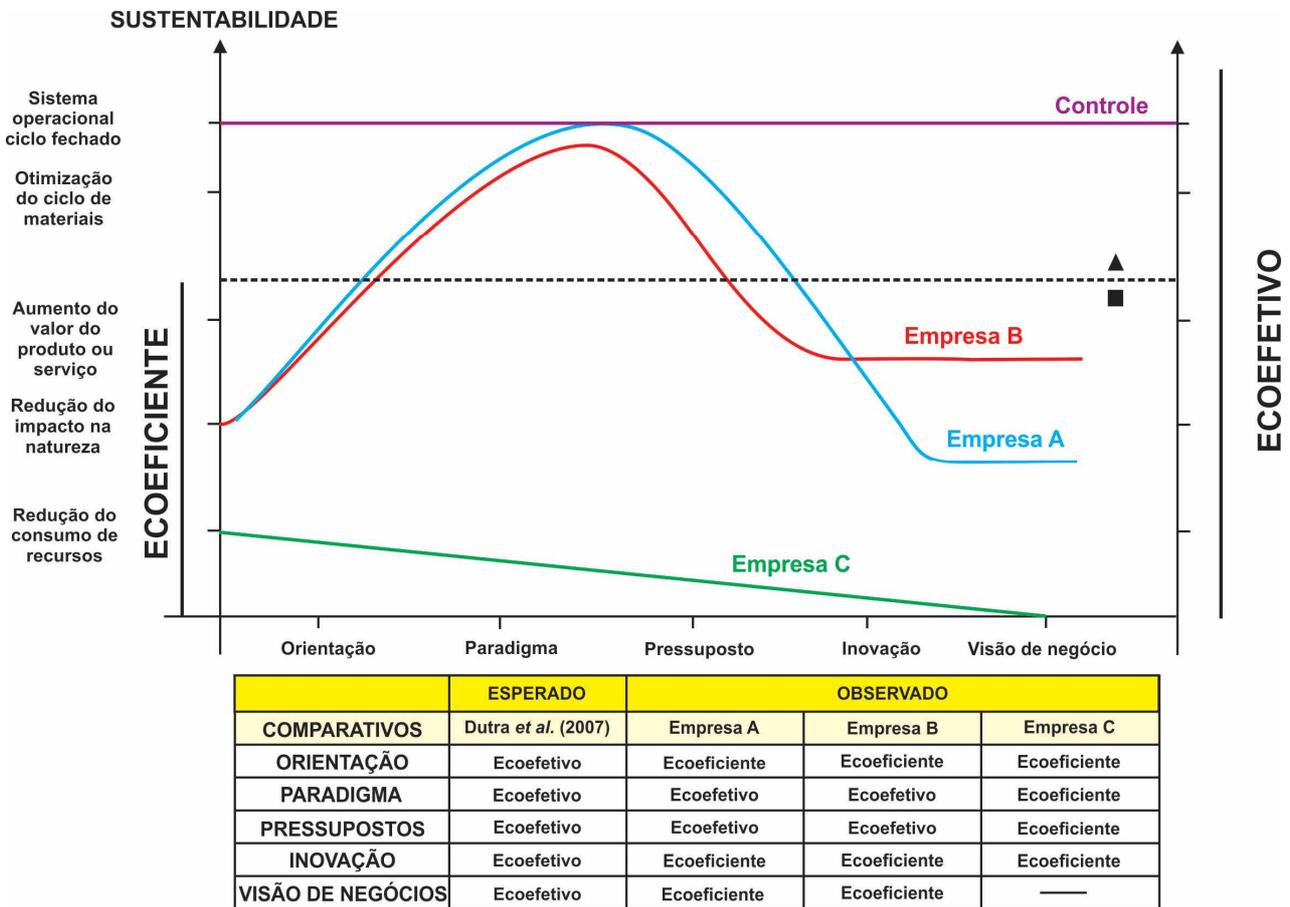
<b>EMPRESA</b>	<b>GERAÇÃO (T/MÊS)</b>	<b>DESTINAÇÃO</b>	<b>TRATAMENTO PELA EMPRESA GERADORA</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>
Empresa A	55	Venda do resíduo para metalúrgica que fará a refusão do cavaco	Não há	Significativo
Empresa B	19	Venda do resíduo para empresa terceirizada a fim de juntar mais quantidade e vender para metalúrgica que fará refusão do cavaco	Escoamento do óleo em caçamba a fim de vender o resíduo metálico mais limpo	Significativo
Empresa C	2	Pagam para empresa terceirizada recolher o resíduo, fazer o tratamento necessário e dispor em aterro industrial	Não há	Significativo

No caso da empresa A, que vende seus resíduos contaminados na forma de como são gerados para serem refundidos em metalúrgica (fundição), foi identificada a abordagem de ecoeficiente, uma vez que sua orientação promove ações com resultado de curto prazo. Para a empresa B, que adota a prática de escoamento parcial do óleo contaminante do resíduo metálico antes da sua venda, também foi caracterizada como abordagem ecoeficiente em relação à sua orientação de promover ações com resultados em curto prazo. Uma vez que a refusão dos resíduos contaminados gerados nas empresas A e B por uma metalúrgica tem caráter incremental sem inovação, aumenta a longevidade do uso do produto com a reciclagem e não há novo modelo de negócio. Sob o ponto de vista do resíduo, este pode ser considerado ecoefetivo, pois considera o resíduo como nutriente, uma vez que volta a ser matéria prima para outra empresa formando um fluxo cíclico de materiais. Este conceito vai ao encontro da ideia de ecoefetividade, já proposta anteriormente. Neste caso não está sendo considerada a qualidade do resíduo/matéria prima em questão.

Ao analisar o caso da empresa C, identificou-se que a abordagem da ecoeficiência se adapta pelo fato de adotar o paradigma do berço ao túmulo (fluxo linear), embora esteja reduzindo o impacto ambiental em relação às demais empresas, uma vez que não exista a possibilidade de derramamento de óleo lubrificante na natureza ao fazer o processo de

escoamento, o resíduo vai para aterro industrial, sendo uma ação com resultado de curto prazo.

Cabe salientar que no caso da empresa B não foi possível obter informação sobre a destinação do óleo escorrido. Na figura 1 há um resumo dos processos analisados e suas respectivas caracterizações entre ecoefetividade e ecoeficiência, onde se faz relação com a tabela 1.



**Fig. 1.** Comparação do método controle com os métodos observados. Elaborado pelos autores (2015)

Sob o ponto de vista das abordagens ecoeficiente e ecoefetiva, os métodos de reaproveitamento adotados pelas empresas A e B, como pode ser observado na Fig. 1, são consideradas mais sustentáveis do que os métodos de reaproveitamento da empresa C. Uma vez que, a destinação de resíduo de cavaco metálico contaminado com fluido de corte em aterro industrial como destinação final, mesmo pagando para que se seja realizado os procedimentos adequados e legalmente corretos para o descarte, não é considerado abordagem ecoefetiva. Em relação à visão de negócios proposta por Lutkemeyer (2014), o processo da empresa C não é identificado como ecoeficiente ou ecoefetivo, pois não visa o aumento da longevidade do uso dos produtos, visando a ecoeficiência, bem como não vende atributos de desempenho e utilidade e não propõe novo modelo de negócio que visa à ecoeficiência. Já a empresa B é considerada com visão de negócios mais desenvolvida que a empresa A, uma vez que ela agrega valor à segregação e reciclagem no momento em que faz o escoamento do fluido de corte e vende o cavaco com menos contaminante que a A.

Ainda analisando a Fig. 1 percebe-se que nenhuma empresa entrevistada apresenta comportamento similar ao processo controle, ainda que as empresas A e B possuam processo cíclico em relação à reutilização do cavaco gerando tendência à ecoefetividade. A

linha tracejada representa a divisão entre abordagens ecoefetivas (triângulo) e ecoeficientes (retângulo).

#### **4. Conclusão**

O trabalho demonstra que práticas ecoefetivas nos processos industriais podem trazer resultados positivos para o desenvolvimento da sustentabilidade, além de melhorias ambientais (deixando de extrair matéria prima e evitando poluição), redução de custos (na destinação de resíduos) e aumento econômico (deixando de comprar e produzindo o próprio insumo), porém esta abordagem ainda não é implantada totalmente nas empresas visto que somente o processo controle possui todas as etapas do processo de reaproveitamento de cavaco metálico como ecoefetivas. Aponta também que a metodologia aplicada se mostrou eficaz, uma vez que foi possível identificar os métodos estudados abordagens ecoeficientes e ecoefetivas.

Embora o enfoque da ecoeficiência apresente boa intenção e resultado a curto prazo, percebe-se que pequenas mudanças, tais como mudança no consumo de matéria-prima e mudança na destinação dos resíduos não são suficientes para ter um cenário de sustentabilidade, sendo necessário que haja mudanças tecnológicas e culturais para alcançar a sustentabilidade. Percebe-se que as práticas e conceitos das abordagens da ecoefetividade devem ser mais abordados pela literatura e adotados pelas empresas, uma vez que, em longo prazo, trazem benefícios ambientais e econômicos. Porém, ainda processos com práticas ecoeficientes são melhores se comparados com processos que não possuem alguma prática sustentável.

#### **5. Referências**

ALMEIDA, F. O bom negócio da sustentabilidade. Rio de Janeiro: Nova fronteira, 2002.

BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W., BOLLINGER, A. "Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions: a strategy for eco-effective product and system design". *Journal of Cleaner Production*, v. 15, n. 13-14, pp. 1337-1348, 2007.

BRAUNGART, M., MCDONOUGH, W. Remaking the way we make things: cradle to cradle. Vintage, Random House, 2009.

CARDOSO, Ligia Maria Franca. *Indicadores de produção limpa: Uma proposta para análise de relatórios ambientais de empresas*. 2004. 155p. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal da Bahia – Salvador, 2004 – Bahia.

CARVALHO, F. P. A., GOMES, J. M. A., "Eco-eficiência na Produção de Cera de Carnaúba no Município de Campo Maior", *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 46, n. 2, pp. 421-453, abr/jun 2008.

DANDOLINE, Décio Luis. *Gerenciamento ambiental de fluidos de corte em indústrias metal-mecânicas*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2014.

DUTRA, Carlos Renê Antunes et al. "Reciclagem de cavaco de alumínio contaminado oriundo do processo de usinagem." III Congresso Internacional do Alumínio, São Paulo, v. 1, p.555-564, maio 2007.

LUTKEMEYER FILHO, M.G., *Avaliação da aderência aos princípios de sustentabilidade em desenvolvimento de produto à luz de abordagens ecoeficientes e ecoefetivas: uma aplicação no setor automotivo*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas/UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil, 2014.

QUEIROZ, Jorge Luiz Lima. *Caracterização da problemática ambiental decorrente da utilização dos fluidos de corte em processos de usinagem*, Dissertação de mestrado, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 1998

SILVA, A. F., DE FIGUEIREDO, C. F., "Reaproveitamento de resíduos de MDF da indústria moveleira", *Revista Design & Tecnologia*, UFRGS, n. 2, 2010.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD). 2000.  
Disponível em: <http://oldwww.wbcd.org/web/publications/measuring-eco-efficiency-portugese.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2014.

**APÊNDICE E – ARTIGO EM REVISÃO – JOURNAL OF CLEANER PRIDUCTION**

## **Recycling of contaminated metallic chip based on eco-efficiency and eco-effectiveness approaches**

Luísa Simon<sup>a</sup>, Carlos A. M. Moraes<sup>b\*</sup>, Regina C. E. Modolo<sup>a</sup>, Mônica Vargas<sup>a</sup>, Daiane Calheiro<sup>a</sup>, Feliciane A. Brehm<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Civil Engineering – Graduate Program, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, and NucMat (UNISINOS), Brazil

<sup>b</sup>Civil and Mechanical Engineering Graduate Program, and NucMat (UNISINOS), Brazil

### **Abstract**

The metal-mechanic sector faces the problems associated with environmental management, and urgently has to adapt innovating technologies to productive processes, in order to reach sustainability. So, the objective of the present study was to evaluate the eco-efficiency and the eco-effectiveness of methods used to clean metallic chips contaminated with cutting fluid in firms that operate in the metal-mechanic sector. A study on the recycling of metallic chips contaminated with cutting fluid was carried out, analyzing the cleaning methods used, the efficiency of each method, the destination of waste that cannot be recycled. The most eco-efficient and eco-effective method was evaluated according to the characteristics mentioned. This evaluation was carried out based on criteria identified in the literature to evaluate methods as eco-efficient and eco-effective. It was possible to verify that only eco-efficient methods have been applied by industry. Some of them includes some eco-effective practices. The results showed that the habit of repairing, reusing, recycling, and define destination of the waste, instead of promoting actions such as the reshaping of a productive system in closed loop, in which waste is not generated, is even more practical and realistic today. However, it is clear that eco-efficient and eco-effective principles improve environmental performance of firms, reducing expenses with inputs, raw materials, and destination of waste, in addition to contributing to higher levels of sustainability. The results show that developing cyclic methods that underline the reuse of a given waste as raw material has environmental and economic advantages to organizations, to local communities, and also from a regional and global standpoint, conserving non-renewable natural resources.

### **Highlights**

Machining metallic chips contaminated with cutting fluid cleaning methods  
Eco-efficiency and eco-effectiveness industrial processes evaluation  
Sustainable practices to machining metallic chips valorization

**Keywords:** Eco-effectiveness, Eco-efficiency, Metallurgy, Metallic chips

\*Corresponding author: cmoraes@unisinobrazil.com.br, Civil Engineering – Graduate Program, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) Av. Unisinos, 950, 93022-000 São Leopoldo, RS, Brazil. Phone: + 55 51 35911224/Fax: +55 51 3590 81 77

## 1. State of the art

The well-being of increasing numbers of people depends largely on material goods produced mostly using natural resources, whether renewable or not. The development of technologies that make life more comfortable depends on the availability of appropriate materials (Callister and Rethwisch, 2013). Accordingly, the obtainment and conversion of such materials into finished goods have become important economic activities worldwide.

The advancements in steel, aluminum, copper and other metals and alloys triggered a variety of technological changes, all of which had negative impact on economic and social scenarios, in addition to the environment. The current production model, that is, the linear input and output model, causes the majority of environmental impacts, disposing of solid waste in landfills instead of recycling it as raw material. In this sense, due to the close link with industrial progress and unrestrained demand, metallurgy operations overlook environmental sustainability, taking up resources and generating waste, with negative environmental impacts.

Modern societies use steel in a variety of ways. However, instead of being used only as input, today steel becomes the main element in large projects. In Brazil, the metal-mechanic sector accounts for 19.9% of the country's industrial GDP. In the state of Rio Grande do Sul, the sector contributes with 1.5% of the industrial GDP, which represented on average R\$17 million in the year 2013 (CNI, 2013). This means that this industrial sector has high impact on the country's economy and, at the same time, demands attention in terms of environmental issues. A specific Brazilian legislation (Lei 12.305, 2/8/2010) established the Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) with the aim of describing the correct destination to all kinds of solid waste based on the notion of shared responsibility across the various agents in the production chain. This chain includes manufacturers, distributors, vendors, and consumers, besides the agents responsible for urban cleaning and management of solid waste (Brasil, 2010).

In 2003, the *Centro Nacional de Tecnologias Limpas* (CNTL) of Brazil discussed the trends in environmental management in the country, starting in the 1950s. The prevailing idea in the 1950s and 1960s was that of disposing waste with no regard for environmental impact. But by the end of the 1960s environmental issues became a reason for concern in firms. Later on, in the 1970s and 1980s, environmental liability emerged as the pathway to end-of-pipe control and compliance to standards. Starting in the 1990s, efforts were redirected to prevention based on proactive moves beyond compliance to standards, with the adoption of clean technologies (CNTL, 2003; Khalili et al., 2014).

In Brazil, solid waste stands as one of the main environmental problems, especially of industrial origin due to the considerable environmental hazards associated with these materials. Official data published by *Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler-RS* (FEPAM, 2002) in its latest inventory of industrial solid waste, 31.46% of firms generating some kind of solid waste were operational in the metallurgy market. Together, these firms generated the significant amount of 277,914.17 metric tons/year of industrial waste, which accounts for 10.67% of the total amount of industrial waste generated in the country. More specifically, 19.5 metric tons of class I waste, which is classified as hazardous, according to the official standard NBR ISO 14001 (ABNT, 2004).

The *Plano Estadual de Resíduos Sólidos* (PERS) establishes that metallurgy generates 1,973,750 metric tons/year, of which 227,383 metric tons are considered class I - hazardous waste (PERS, 2104). As shown in Table 1, within approximately 10 years, the amount of this kind of waste increased by about 11 times, while total waste amount rose eight times. This indicates that the metallurgy sector holds a prominent position in the Brazilian economic scenario. This vast production chain includes not only metallurgy operations, but also

machining and manufacturing of metallic products that have been used in relevant industrial activities in the automobile sector, construction, and capital goods markets (Brasil, 2014).

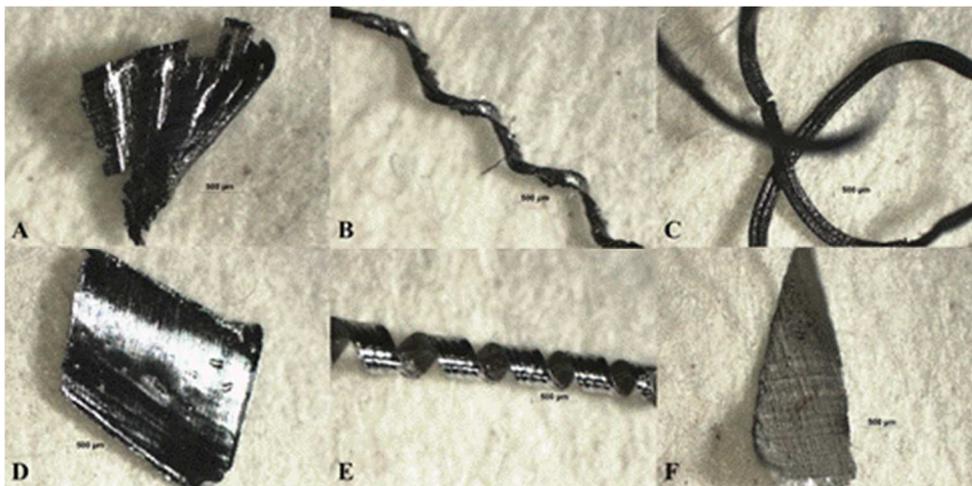
**Table 1.** Comparison of the generation of industrial waste in the state of Rio Grande do Sul, Brazil.

Metallurgy	FEPAM (2002)	PERS (2014)	Rise
Total waste	277.914 t/year	1.973.750 t/year	8 times
Class I-hazardous waste	19.500 t/year	227.383 t/year	11 times

This increase in waste generation is comparable to the total amount of per capita consumption of steel, stainless steel, iron alloys, and aluminum, of about 116 kg/person year in 2000 to about 150 kg/person year in 2014, accounting for a 1.3-fold increase in a period of approximately 13 years (*Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico*, 2015). Considering the current legislation, it is possible that waste that in the past were classified as inert or other type now ranks as class I – hazardous waste. In other words, the amount of waste recorded today may well have been produced in the past, which is high today only because of stricter legislation, which enforces the quantification and correct disposal of waste. So, it was only the recorded amount of waste that increased, not the generation of waste per se (Brasil, 2010).

Concerning the waste generated in machinery (such as metallic chips, for instance, as shown in Fig. 1), the practices most commonly adopted by the metallurgical and machinery sectors are remediation and treatment after generation (eco-efficiency). However, methodologies to improve production processes in order to prevent waste generation, optimizing processes and improving the use of raw materials and of energy (eco-effectiveness) are beginning to be implemented. New methods increasingly enable the industry to recycle almost completely even those solid wastes used to be sent previously only to landfill.

**Fig. 1.** Examples of steel and aluminum chips, both of which contaminated with cutting fluid.



The Bureau of International Recycling (2015) calculated the increase in use of steel scrap in the world's 2014 steel production to be 0.9%, representing 585 million metric tons. According to data published by BIR, in 2014 the use of steel scrap increased by 1% in the European Union, 3% in China, 5.1% in the USA, and 0.6% in Japan. However, these figures dropped by 7.3% in Turkey and 0.5% in Russia.

According to the Instituto Aço Brasil, in 2013 Brazilian steel manufacturers consumed 10.3 million metric tons of iron and steel, accounting for 30% of the total steel produced in the country. The world's mean figure is 28%. One of the companies that recycled the largest amount of steel is ArcelorMittal, which used 2.7 million metric tons of scrap last year. One

important source of scrap is the waste of steel production processes. In 2013, three million metric tons of scrap were returned to furnaces.

The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, 2000) defines eco-efficiency as the combination of measures aimed to increase productivity and profits by reducing environmental negative impacts and resource use throughout a product's lifecycle. Differently from eco-effectiveness, whose concept proposes the transformation of products and their associated material flows such that they form a supportive relationship with ecological systems and future economic growth, eco-efficiency does not involve changing the production process in order to guarantee greater durability and to contribute to a closed recycle system, in which the final product returns to its early status, or that, when disposed of, is degraded and therefore prevents environmental contamination. Eco-efficiency begins with the assumption of a one-way, linear flow of materials through industrial systems: raw materials are extracted from the environment, transformed into products and eventually landfilled. In this system, eco-efficient techniques seek only to minimize the volume, velocity, and toxicity of the material flow system, but do not afford to alter its linear progression. Some materials are recycled, but often as an end-of-pipe solution, since these materials are not designed to be recycled. Instead of true recycling, this process is actually down cycling, a downgrade in material quality, which limits usability and maintains the linear, cradle-to-grave dynamic of the material flow system (Braungart et al, 2007).

The concepts of eco-efficiency and eco-effectiveness have been widely adopted. Researchers emphasize that the responsibility of manufacturing companies to contribute to a sustainable development, improving the resource efficiency and effectiveness of their operations and thereby reducing their environmental inferences is gaining importance from an economic perspective (Sproedt et al., 2015). Many businesses in all continents have been pursuing ways of reducing their impact on the environment while continuing to grow and develop. But different companies have interpreted and measured it in different ways (WBCS, 2000).

It is believed that the more efficient the method used to clean metallic chips for subsequent recycling, the lower the amount of pollutants present in atmospheric emissions, the lower the amount of inputs required in the purification of the production process. This increases the quality of the recycled metal and its progress toward economic and environmental sustainability.

This paper presents a study of eco-efficiency and eco-effectiveness evaluating methods used to clean metallic chips contaminated with cutting fluid in firms of the metal-mechanic sector, in southern Brazil, finding a common approach that will make feasible for them to measure their environmental performance.

### *1.1. Sustainability and competitiveness*

The industry faces the constant challenge of improving production performance focused on quality of products. This challenge has to be aligned with the capacity of each firm to adopt sustainability practices in light of the fact that sustainable economic growth is a current need (Hauschild, 2015). In turn, sustainable growth aims to engage people and the planet so as to the use of resources does not interfere with neighboring communities and the natural environment. Therefore, sustainable development involves preserving the environment as a whole, including social aspects (Golinska et al., 2014).

For Zhang and Haapala (2014), both individual and corporate consumers are aware of what is happening around them in terms of sustainability (products with lower environmental impact).

This prompts firms to lay out their own sustainability targets in order to mitigate market risks. The notion of sustainable production is understood as the production process aimed at minimizing environmental impacts, based on social accountability with employees, the community, and consumers throughout a product's lifecycle, with mutual benefits (Haapala et al., 2013).

An efficient system is characterized by the capacity to produce more and better products using fewer resources and minimizing waste. Eco-efficiency was defined by WBCSD as the best term to express economic and environmental efficiency, and has been widely used as a tool to measure and evaluate corporate performance, drawing the attention of governments and society (WBCSD, 2000).

The definition of eco-efficiency as a management philosophy that enables the search for improvements in environmental performance and, in parallel, the profitability of the business, has three main objectives: (a) reducing the consumption of resources; (b) reducing the impact on nature, and (c) increase in the value of the product or service (WBCSD, 2000). For Lutkemeyer (2014), these objectives are based on the delivery of products that meet human needs and improve quality of life at the same time that demand for natural resources is balanced out according to the regeneration capacity of the planet.

As defined by Carvalho and Gomes (2008), eco-efficiency represents an important step ahead in environment questions, contributing to a sustainable society. Eco-efficiency helps firms towards qualitative growth, promoting more service, benefits, and value, instead of transforming larger amounts of materials into energy and waste. The adoption of eco-efficiency principles also improves quality of life, reducing environmental pollution and generating higher quality products. In this sense, Alves and Medeiros (2015) showed that it is possible to, through simple and inexpensive eco-efficiency initiatives, to obtain positive results based on the reduction of consumption and increased sales of materials to small and large firms. The authors claim that, three years after the implementation of such actions, an analysis was carried out, whose results included more consistent data about economic, environmental, and social aspects.

The WBCSD has outlined the following actions as the seven elements of eco-efficiency, as described by ABDI (2011): a) reduction of consumption of materials of goods and services; b) reduction of the consumption of energy of goods and services; c) reduction of toxic substance dispersion; d) enhancement of materials recyclability; e) maximization of the sustainable use of renewable resources; f) increase of product durability; g) value aggregation to products and services. In this sense, reduction, which one of the main elements of eco-efficiency, does not affect the linear stream of consumption of resources, and ignores the long-term effects on natural ecosystems (Braungart et al., 2007; Braungart and McDonough, 2009). The concept of reduction is appropriate when production systems have to become 'less destructive', since they allow deaccelerating the exhaustion of natural resources.

Despite its laudable objectives, eco-efficiency does not propose, in the long run, sufficiently profound changes in industrial production (Braungart et al., 2007). For Silva and Figueiredo (2010), the objective of eco-effective approaches is to contain material streams inside closed loops, affording the cradle-to-cradle material stream (Lutkemeyer, 2014). This approach is based on the principle that the industry has a regenerative character, not a destructive one, and that, considering the logics of the development of sustainable products, production systems operate through closed material loops.

Using biological alternatives, eco-effectiveness suggests strategies to optimize materials cycles, from the raw material to the final product, eliminating waste disposal. Braungart and McDonough (2009) proposed five steps towards eco-effectiveness: a) the absence of known toxic products; b) the choice of less aggressive raw materials to the environment and to human

beings; c) the innovation in the choice of raw materials with less social and environmental impacts, d) the same utilization as before; e) the effort to be good and not less bad, apart from reinventing to guarantee real and positive effects to the environment.

According to Lutkemeyer (2014), Table 2 shows the elements that lend characteristics to the eco-efficiency and eco-effectiveness approaches.

**Table 2.** Characteristics of the elements of the eco-efficiency and eco-effectiveness approaches (adapted from Lutkemeyer, 2014).

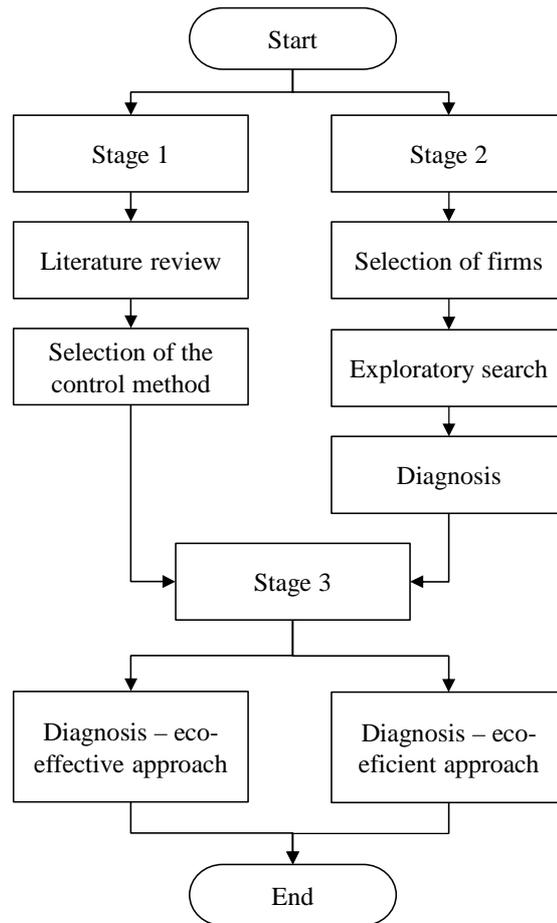
	ECO-EFFICIENT	ECO-EFFECTIVE
DIRECTION	Tends to promote actions with short-term results	Tends to promote actions with long-term results
PARADIGM	Reduction and minimization (cradle-to-grave)	Waste = nutrient (cradle-to-cradle)
PREMISES	Linear materials stream	Cyclic materials stream
INNOVATION	Tends to be incremental	Tends to be radical
BUSINESS VISION	Increases life of products (repair, reuse, remanufacture, recycling)	Sales of performance and usefulness attributes instead of the simple product sale; new business models

However, for Hauschild (2015), introducing a focus on eco-effectiveness to the traditional view of eco-efficiency in industrial development is important, since the contrast of the concept of eco-effectiveness proposes the transformation of products and their associated material flows such that they form a supportive relationship with ecological systems and future economic growth. Herrmann et al (2015) relate that efficiency assesses in production are an interesting beginning for positive firms impacts, but need to be developed towards eco-effectiveness containing cyclic cycle material and energy flows along with a strong linkage with the external environment. The goal is not to minimize the cradle-to-grave flow of materials, but to generate cyclical, cradle-to-cradle ‘‘metabolisms’’ that enable materials to maintain their status as resources and accumulate intelligence over time (upcycling). This inherently generates a synergistic relationship between ecological and economic systems - a positive recoupling of the relationship between economy and ecology (Braungart, et al, 2007; Toxopeus et al., 2015).

## 2. Material and methods

This study was realized in three successive steps, as shown in Fig. 2.

**Fig. 2.** Flowchart showing the methodology used in the present study.



### *Stage 1 – Selection of the method based on literature*

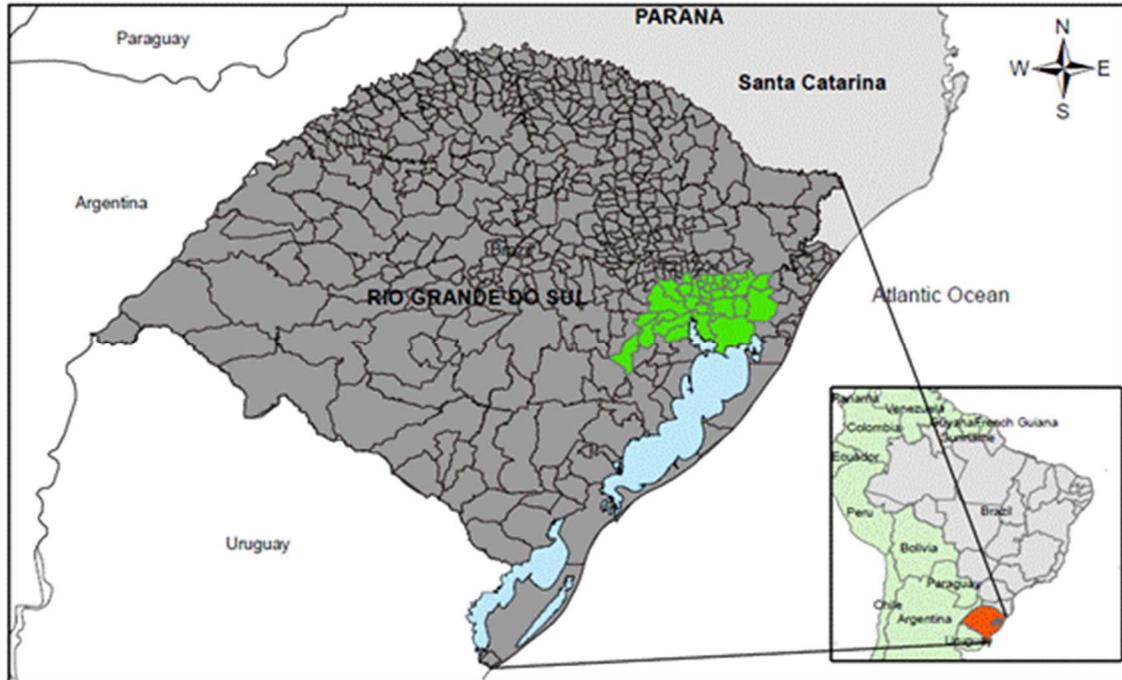
A literature review was carried out focusing on the methods used to clean metallic waste contaminated with cutting fluid, considering waste separation, degree of cleanliness required, and type of metal used. The method chosen presented the best cleaning standards, and may be considered eco-effective, being used as the ‘control method’.

The control method allows the experimental investigation of one variable at a time. In the present study, the importance of the control method lies in the possibility to evaluate the other methods investigated based on a standard with sustainable and eco-effective characteristics.

### *Stage 2 – Selection of the firms and diagnosis of the reuse of metallic chips contaminated with cutting fluid*

This stage included the survey of data about reuse of metallic chips contaminated with cutting fluid in firms in the metropolitan area of the city of Porto Alegre, RS, Brazil (Fig. 3). In total, eight firms were selected according to the convenience method (Oliveira, 2001; Etikan et al., 2016). Both firms have been given environmental protection certificates, and their main activities are classified as metal-mechanic processes (SEBRAE, 2103). The data were obtained using a qualitative approach based on an exploratory search with a specific questionnaire about recycling of metallic chips contaminated with cutting fluid and further aspects of the production process concerning particularly factors associated with environmental management. The questions covered firm size, type and amount of chips produced monthly (metric tons), destination or recycling of contaminated fluid as discussed in item 2.1 – Supplementary materials. For secrecy reasons the companies were called using letters. It should be emphasized that this secrecy does not affect the reliability of the data discussed herein.

**Fig. 3.** Map developed using the ArcGIS software, with a green area showing the Porto Alegre metropolitan region. According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE, 2010), the region includes 34 municipalities, covering an area of 10,234.012 km<sup>2</sup> with approximately 4 million inhabitants.



*Stage 3 – Consolidation of the methods diagnosed in eco-effective and eco-efficient approaches in comparison with the control method*

The data about recycling of metallic chips contaminated with cutting fluid were used to analyze the various practices adopted by the firms included in this study. Eco-effective and eco-efficient approaches were identified in each method and subsequently compared with the control method.

*2.1. Supplementary materials*

The questions included in the questionnaire covered company size, type, variety, and amount of metallic chips generated monthly (in metric tons), and destination or recycling of contaminated chips. Table 3 shows an abridged version of the questionnaire used.

**Table 3.** Abridged questionnaire answered by the companies of the metal-mechanic sector

QUESTIONS	ANSWERS
Name of company?	Answer:
Location of company?	Answer:
Size of company? (SEBRAE, 2013)	<input type="checkbox"/> Micro – up to 19 employees <input type="checkbox"/> Small – 20 to 99 employees <input type="checkbox"/> Medium – 100 to 499 employees <input type="checkbox"/> Large – 500 employees or more
Manufacturing segment of the company?	Answer:
Amount and type of metallic chips produced monthly? (tons)	Answer:
Does the company use a method do separate metallic	<input type="checkbox"/> Yes. Which?

chips and cutting fluid after machining?	( ) No
What is the destination of metallic chips generated by the company? Is this waste subjected to any treatment?	Answer:
Does the company buy or sell this kind of waste?	( ) Buys ( ) Sells
What is the destination?	Answer:

### 3. Results and discussion

#### Stage 1

The information obtained in the literature review about the recycle methods is shown in Table 4, through five studies.

**Table 4.** Recycle methods identified in the literature.

Author	Process	Metal	Degree of cleaning
Dutra et al. (2007)	Washing (solvent)	Aluminum	100%
Gronostajski et al. (2002, 2000, 1998)	Washing (water)	Iron, aluminum, copper, cast iron	Not informed
Von Hohendorff and Junior (2007)	Decantation, centrifuging	Cast iron, brass	60%, 90%
Giacaglia and Guimarães (2012)	Segregation + compaction	Aluminum	Not informed
Fu, Matthews and Warner (1998)	Washing (solvent), heating under high pressure	Steel	86%
Khamis, Lajis and Albert (2015)	Washing (cetone)	Aluminum	Not informed
Lucci et al. (2015)	Washing (water + detergent)	Magnesium	Not informed
Torkar, Lamut and Millaku (2010)	Washing (solvent) Heating in muffle furnace	Steel	Clean chips

According to the studies listed in Table 4, the method proposed by Dutra et al. (2007) is considered eco-effective and therefore was adopted as control method in this study. This selection took into account not the fact that the degree of cleaning was 100%, but the notion that it was the only method evaluated that clarifies that the process is a closed loop. In other words, the methods chosen does not generate new waste or atmospheric emissions in the cleaning process. In turn, the method described by Gronostajski et al. (2002, 2000, 1998), for instance, does not reveal the destination of the effluent produced during the washing step. The same was observed in the methods introduced by Fu et al. (1998), Khamis et al. (2015), Lucci et al. (2015), Torkar et al. (2010), and Von Hohendorff and Junior (2007), which uses solvent or other detergents in the cleaning operation and likewise does not address the generation of waste in this process, nor its destination.

The method developed by Dutra et al. (2007) consists of washing metallic chips using a chemical compound. After, chips are separated from the solvent by filtration. Clean chips are then dried in a stove, whose role is to prevent chips from oxidizing due to moisture, which would reduce efficiency and recovery of aluminum. After the drying operation, compaction is carried out as a means to increase surface area, facilitating melting, reducing volume, and increasing efficiency of the process. The results of this process include the thorough removal of oil from chips, the high degree of cleaning of the chemical used by distillation, and the simplicity to machine the aluminum that will be molten again (with no soot or scum generation), very similarly to commercial alloys commonly used (Dutra et al., 2007).

Approaches were characterized as eco-effective and/or eco-efficient. The process used as

control, described by Dutra et al. (2007) meets the criteria of the eco-effective category, since it includes actions with long-term results and considers waste as a substance, as proposed by Baungart and McDonough (2009). Another aspect considered by the authors and identified in the control method is the cyclic materials stream, through which the clean metal may be reintroduced in the production process considered as raw material, and is identified as radical innovation.

### Stages 2 and 3

The results obtained by the firms are shown in Table 5. Firm A sells the contaminated waste they produce as it is generated, to be molten again in a foundry. This approach was characterized as eco-efficient, since it includes actions with short-run results. Firm B, which like firm A adopts the partial draining of the contaminant oil before selling the metallic chips, also uses an eco-efficient approach, with actions whose results manifest in the short run. Since the remelting of contaminated waste generated by firms A and B by another third party foundry, without innovation feature, this process increases product life with recycling, and there is no new business model involved. It should be stressed that it was not possible to obtain information about destination considered eco-effective, since it considers waste as a nutrient that is used as raw material by another firm, forming a cyclic materials stream. This concept agrees with the idea of eco-effectiveness, proposed previously. Here, the quality of the waste/raw material was not considered.

**Table 5.** Results of the interview with firms of the metal-mechanic sector in RMPA.

FIRM	GENERATION (tons/month)	FINAL DESTINATION	METAL	TREATMENT BY THE GENERATING FIRM
Firm A	55	Sale of waste to the metallurgic firm that will melt chips	Aluminum	Release of excess cutting fluid into a piping system that leads to the effluent treatment system
Firm B	19	Sale of waste to the outsourced firm so as to increase amounts and sale to the metallurgic firm that will melt chips	Cast iron + Steel	Release of oil in a dumpster so as to sell a cleaner metallic waste
Firm C	1	Pay for disposal in industrial landfill	Steel	Non-existent
Firm D	2	Sale of waste to the outsourced firm so as to increase amounts and sale to the metallurgic firm that will melt chips	Steel	Non-existent
Firm E	430	Sale to the metallurgic firm that will melt chips	Steel	Non-existent
Firm F	288	Sale to the metallurgic firm that will melt chips	Steel	Non-existent
Firm G	12.7	Sale to the metallurgic firm that will melt chips	Cast iron	Some vises have a filter to collect the cutting fluid present in chips
Firm H	230	Sale to the metallurgic firm that will melt chips	Cast iron + Steel	Release of oil in a dumpster so as to sell a cleaner metallic waste

The approach adopted by firm C was considered eco-efficient, since it follows the cradle-to-grave paradigm (linear stream), despite the reduced environmental impact when compared with the other firms. It does not allow releasing the oil in the environment during draining. Waste has sent to an industrial landfill, with short-term results.

Firms D to H adopt eco-efficient premises and paradigms, since they aim at the cyclic materials

stream, that is, from cradle to cradle. However, the business vision and innovation in these companies have been considered eco-effective by targeting reuse and recycling, it means end-of-pipe control. Firms G and H, which carry out a pre-filtration operation or even drain the chips produced before these are remolten in a foundry, adopt an eco-efficient approach, given that its results manifest in the short run. However, these firms are considered more eco-efficient than the others cited in this paragraph, exactly because they conduct this cleaning operation and melt less contaminated chips, helping reduce the formation of scum and atmospheric emissions. The same is valid for firms A and B.

The reuse methods adopted by firms A and B are considered more sustainable, compared with those implemented by firm C, considering the eco-efficiency and eco-effectiveness approaches, as shown in Fig. 1. The final destination of chip waste contaminated with cutting fluid in the landfill is not considered eco-effective, even though it is economically viable and legally permitted. Considering the business vision proposed by Lutkemeyer (2014), the process implemented by firm C was not identified as eco-efficient nor eco-effective, since it does not aim to increase life of products, aiming at eco-efficiency, and does not sell performance and usefulness attributes, that is, it does not propose a new business model focused on eco-efficiency. Firm B has a more developed business vision than firm A, since it adds value to segregation and recycling when it drains the cutting fluid and sells chips containing lesser amounts of contaminant, compared with firm A.

Analyzing Fig. 1, it becomes clear that no firm presents a behavior similar to the control method, even though firms A and B adopt a cyclic process in the reuse of metallic chips, generating a trend towards eco-efficiency.

The importance of cleaning metallic chips contaminated with cutting oil is discussed worldwide, with various authors underlining the relevance of the quality of metallic materials to be recycled, since the quality of the end product is affected. When the end product is contaminated with oil, increased particulate matter, toxic gas, and scum levels are produced, in addition to the contamination of the product itself. These negative environmental impacts were identified as some of the main problems in the studies carried out by Alifer et al. (1989), Xião and Reuter (2002), and Torkar et al. (2010) about recycling of metallic chips contaminated with cutting fluid.

#### **4. Conclusions**

Though they include the treatment of metallic chips contaminated with cutting fluid, the processes used to recycle these materials adopted by the industry and reported in the literature are not eco-effective, since new waste is generated when products like water contaminated with detergent and oil (liquid effluent), besides atmospheric emissions. Dutra et al. (2007) used a closed loop to demonstrate the eco-effectiveness of the process developed, which means that it prevents the generation of new waste and atmospheric emissions.

Even though non-polluting treatments have been developed, it was possible to verify that the companies of the metal-mechanic sector included in the present study adopt processes like discharging the excess cutting fluid in conduits. These lead the waste to waste treatment units, disposing of the fluid in inappropriate sites (not informed by the company in question) and the use of machining equipment with filters to retain contaminated metallic chips.

Therefore, the results of the present study afford to conclude that, although the eco-efficiency practices adopted by the companies included are effective to minimize the negative environmental impacts on the linear production and disposal cycle, this eco-efficiency could be improved with the implementation of eco-effective initiatives as well.

#### **References**

ABDI, Available at [http://www.abdi.com.br/Estudo/VersaoWeb\\_ecoeficiente.pdf](http://www.abdi.com.br/Estudo/VersaoWeb_ecoeficiente.pdf). Accessed June 2016.

Alifer, L.L., Kanevskaya, E.N., Ibraev, M. B., Alikulova, D.A., Skornayakova, R.A., 1989. Use of chips in melting of brass and bronze for castings. *Chem. Petrol. Eng.* 24, 502-505.

Alves, J.L.S., Medeiros, D.D., 2015. Eco-efficiency in micro-enterprises and small firms: a case study in the automotive services sector. *J. Clean. Prod.*, article in press, 1 – 8.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2004. NBR ISO 14001 – Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso. ABNT, Rio de Janeiro.

Bureau of International Recycling Ferrous Division - Belgium - WORLD STEEL RECYCLING IN FIGURES 2010 – 2014 Steel Scrap – a Raw Material for Steelmaking, 2015

Brasil, 2010. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF, 2 de agosto de 2010. Available at <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/lei12305.pdf>. Accessed July 2015.

Brasil, 2014. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral: Anuário Estatístico do Setor Metalúrgico. Departamento de Transformação e Tecnologia Mineral, Brasília.

Braungart, M., McDonough, W., 2009. *Remaking the way we make things: cradle to cradle*. Vintage, Random House, London.

Braungart, M., McDonough, W., Bollinger, A., 2007. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions: a strategy for eco-effective product and system design. *J. Clean. Prod.* 15, 1337-1348.

Callister, W.D.Jr., Rethwisch, D.G., 2103. *Fundamentals of Material Science and Engineering*, 4<sup>th</sup> edition. John Wiley and Sons, Inc., Singapore.

Carvalho, F.P.A., Gomes, J.M.A., 2008. Eco-eficiência na Produção de Cera de Carnaúba no Município de Campo Maior”, *Rev. Econ. Sociol. Rural*, 46, 421-453.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2003. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. CNTL/SENAI-RS/UNIDO/UNEP, Porto Alegre, 42.

Confederação Nacional da Indústria, 2013. Perfil da Indústria nos Estados. CNI/SESI/SENAI/IEL; Porto Alegre. Available at <http://perfilestados.portaldaindustria.com.br/>

Dutra, C.R.A., Calheiro, D., Herter, M., Fontana, W.A., Brehm, F.A., Moraes, C.A.M., 2007. Reciclagem de cavaco de alumínio contaminado oriundo do processo de usinagem, III Congresso Internacional do Alumínio, São Paulo, 1, 555-564.

Etikan, I., Musa, S.A., Alkassim, R.S., 2016. Comparison of Convenience Sampling and Purposive Sampling. *Am. J. Theor. Appl. Stat.* 5, 1-4. doi: 10.11648/j.ajtas.20160501.11 - <http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648.j.ajtas.20160501.11.pdf>

FEPAM, 2002. Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, Etapa Rio Grande do Sul, FEPAM, Porto Alegre.

Fu, H., Matthews, M.A., Warner, L.S., 1998. Recycling steel from grinding swarf. *Waste Manag.* 18, 321-329.

Giacaglia, G.E.O., Guimarães, E.N., 2012. Technological innovation: a machine to produce aluminium chippings briquettes. *Tech. Rep.* 3, Article 2.

- Golinska, P., Kosacka, M., Mierzwiak, R., Werner-Lewandowska, K., 2014. Grey Decision Making as a tool for the classification of the sustainability level of remanufacturing companies. *J. Clean. Prod.* 105, 28-40.
- Gronostajski, J., Chmura, W., Gronostajski, Z., 2002. Bearing materials obtained by recycling of aluminium and aluminium bronze chips. *J. Mat. Process. Technol.* 125-126, 483-490, 2002.
- Gronostajski, J., Chmura, W., 2000. Mechanical and Tribological properties of aluminium-base composites produced by the recycling of chips. *J. Mat. Process. Technol.* 106, 23-27.
- Gronostajski, J.Z., Kaczmar, J.W., Marciniak, H., Matusak, A., 1988. Production of composites from Al and AlMg2 alloy chips. *J. Mat. Process. Technol.* 77, 37-41.
- Haapala, K.R., Zhao, F., Camelio, J., Sutherland, J.W., Skerlos, S.J., Dornfeld, D.A., Jawahir, I.S., Clarens, A.F., Rickli, J.L., 2013. A Review of Engineering Research in Sustainable Manufacturing. *J. Manuf. Sci. Eng.* 135, 16.
- Hauschild, M.Z., 2015. Better – but is it good enough? On the need to consider both eco-efficiency and eco-effectiveness to gauge industrial sustainability. The 22<sup>nd</sup> CIRP conference on Life Cycle Engineering, 29, 1-7.
- Herrmann, C., Blume, S., Kurle, D., Schmidt, C., Thiede, S., 2015. The Positive Impact Factory – Transition from Eco-Efficiency to Eco-Effectiveness Strategies in Manufacturing. *Procedia CIRP* 29 19 – 27 (in The 22<sup>nd</sup> CIRP conference on Life Cycle Engineering Cradle).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2010. Censo de 2010, IBGE, Brasília.
- Khalili, N.R., Duecker, S., Ashton, W., Chave, F., 2014. From cleaner production to sustainable development: the role of academia. *J. Clean. Prod.* 96, 30-43.
- Khamis, S.S., Lajis, M.A., Albert, R.A.O.A., 2015. Sustainable Direct Recycling of Aluminum Chip (AA6061) in Hot Press Forging Employing Response Surface Methodology. 12<sup>th</sup> Global Conference on Sustainable Manufacturing, *Procedia CIRP* 26, 477-481.
- Lucci, R., Padilla, R.L., Cantero, S., Bariles, R., Oldani, C., 2015. Refining of AZ91 Magnesium Alloy Obtained in Machining Chips Recycling. *Proc. Mat. Sci.* 8, 886-893.
- Lutkemeyer Filho, M.G., 2014. Avaliação da aderência aos princípios de sustentabilidade em desenvolvimento de produto à luz de abordagens ecoeficientes e ecoefetivas: uma aplicação no setor automotivo, MSc dissertation, UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brazil.
- Estado do Rio Grande do Sul, 2014. Plano Estadual de Resíduos Sólidos Do Rio Grande Do Sul, 2015. RS 2015-2034, RS, Porto Alegre.
- Oliveira, T.M.V., 2001. Amostragem não probabilística: adequação de situações para uso e limitações de amostras por conveniência, julgamento e quotas. FECAP. São Paulo. Available at <[http://www.fecap.br/adm\\_online/art23/tania2.htm](http://www.fecap.br/adm_online/art23/tania2.htm)>. Accessed June 2016
- SEBRAE, 2013. Anuário do Trabalho na Micro e Pequena Empresa. 6 ed. Dieese, São Paulo.
- Silva, A.F., de Figueiredo, C.F., 2010. Reaproveitamento de resíduos de MDF da indústria moveleira. *Rev. Des. Tecnol. UFRGS*, 2.
- Sproedt, A., Plehn, J., Schönsleben, P., Herrmann, C., 2015. A simulation-based decision support for eco-efficiency improvements in production systems. *J.Clean. Prod.* 105, 389-405.
- Torkar, M., Lamut, M., Millaku, A., 2010. Recycling of Steel Chips. *Mat. Technol.* 44, 4-7.
- Toxopeus, M.E., de Koeijera, B.L.A., Meij, A.G.G.H., 2015. Cradle to Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice?. *Procedia CIRP*, 29, 384 – 389 (in The 22<sup>nd</sup> CIRP conference on Life

Cycle Engineering Cradle).

Von Hohendorff, E.C.S., Junior, E.F.T., 2007. Análise dos métodos de decantação e centrifugação para a retirada de óleo nos cavacos de ferro fundido e latão resultantes da usinagem de peças. I Forum Internacional de Resíduos Sólidos, Porto Alegre.

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2000. Available at <http://oldwww.wbcsd.org/web/publications/measuring-eco-efficiency-portugese.pdf>. Accessed 5 Dec, 2014.

Zhang, H., Haapala, K.R., 2014. Integrating sustainable manufacturing assessment into decision making for a production work cell. *J. Clean. Prod.* 105, 52-63.