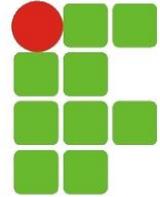




**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS – IFMG  
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES**



**Estudo das práticas de destinação de resíduos gerados na  
usinagem dos materiais, executadas por empresas de Governador  
Valadares-MG**

**VINÍCIUS MELO CANGUSSU**

**Governador Valadares  
Janeiro de 2016**

**VINÍCIUS MELO CANGUSSU**  
**viniciusmelocangussu@gmail.com**

**Estudo das práticas de destinação de resíduos gerados na  
usinagem dos materiais, executadas por empresas de Governador  
Valadares-MG**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Produção.

Orientador(a): Prof. Me. Sandro da Costa Silva

**Governador Valadares**  
**Janeiro de 2016**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES  
COLEGIADO DE CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
Av. Minas Gerais, nº 5.189 – Ouro Verde – Governador Valadares – Minas Gerais – CEP: 35057-760  
Tel: (33) 3717 - 0107



## ATA DE DEFESA

Aos 03 dias do mês de fevereiro de 2016, às 18:00 horas, no Laboratório de Cartografia deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pelo (a) aluno (a) Vinícius Melo Cangussu, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Sandro da Costa Silva; Débora Rosa Nascimento; e Luciano Silva.

O (a) aluno (a) apresentou o trabalho intitulado: **Estudo das práticas de destinação de resíduos gerados na usinagem dos materiais, executadas por empresas de Governador Valadares-MG.** A comissão examinadora deliberou, pela APROVAÇÃO do(a) aluno(a), com a nota 90. No caso de aprovação, o aluno possui 15 dias corridos para entregar as correções. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pelo (a) aluno(a).

Governador Valadares, 03 de fevereiro de 2016.

Professor(a) Orientador(a); M.<sup>o</sup> Sandro da Costa Silva

Convidado(a): Prof. M.<sup>o</sup> Débora Rosa Nascimento

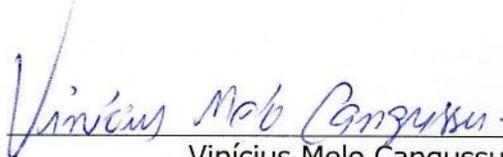
Convidado(a): Prof. Esp. Luciano Silva

Aluno (a): Vinícius Melo Cangussu

## TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “Estudo das práticas de destinação de resíduos gerados na usinagem dos materiais, executadas por empresas de Governador Valadares-MG” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

Governador Valadares, 20 de janeiro de 2016

  
\_\_\_\_\_  
Vinícius Melo Cangussu

Dedico esta etapa concluída a Jesus, por ser meu guia e minha fonte de inspiração, aos meus pais Élio e Olinta pelo amor e confiança, meus avós Nuno e Analzir por todo apoio e exemplo dados, e aos meus irmãos Ludimila e Nuno pelo companheirismo.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por me fazer mais sensível às coisas que me rodeiam, e me prover aquilo que necessito para minha sobrevivência.

Agradeço ao meu pai Élio Cangusçu Machado pelo apoio, amizade e confiança. Ajudando-me e instruindo-me em todos os momentos da minha vida.

Agradeço à minha mãe Olinta Capistrano Melo, por ter permitido que eu viesse ao mundo, e pelos conselhos e lições que fazem com que eu busque melhorar a mim mesmo todos os dias.

Ao Professor e Mestre Sandro pela confiança, conselhos e solicitude por ele demonstrados. Além da dedicação e empenho no esclarecimento de questões relativas ao trabalho que possibilitaram a sua realização bem como sua exigência que fizeram com eu buscase sempre a melhoria.

Às oficinas de usinagem e seus colaboradores que abriram suas portas e disponibilizaram seu tempo para os esclarecimentos das dúvidas no decorrer do trabalho.

Aos professores: Me. Débora Rosa Nascimento, Me. Guido Pantuza Jr., Pós-Dr. Rodrigo Marques de Oliveria e Dr. Willerson Custódio Silva, por terem disponibilizado à mim e aos meus colegas o conhecimento em grande parte das disciplinas cursadas.

Aos colegas de projeto de extensão Daniel Profeta, Mayara Louzada e Thiago Freitas.

À todos os professores, técnicos administrativos, colegas de curso e demais áreas, e terceirizados (em especial à Marcia e à Dona Gê da adsert).

Aos meus amigos Anderson Roberto, Daniel Profeta e Eliezer Campos por toda a generosidade e amizade por eles demonstradas, principalmente em momentos complicados.

Aos amigos Wallace Siqueira, Thiago Freitas e Gustavo Lago (Jagunço de Caicó) pelos papos filosóficos na cantina do IFMG, e ao Marcos Vinícius (Batoré) por todos os momentos de descontração e perrengues. E a todos os demais membros e agregados da República Sksj.

*“Bênçãos não são somente  
para os que se ajoelham...  
felizmente”*

## RESUMO

CANGUSSU, Vinícius Melo. Estudo das práticas de destinação de resíduos gerados na usinagem dos materiais, executadas por empresas de Governador Valadares-MG, 2015. (Graduação em Engenharia de Produção). Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Governador Valadares.

A usinagem dos materiais é um processo de fabricação com grande relevância para a atividade manufatureira. Este processo é responsável por conferir forma, dimensão e acabamento às peças confeccionadas, por meio da remoção de cavacos (resíduo sólido). Todavia, essa atividade industrial gera no seu processo, resíduos sólidos e líquidos, na forma de cavacos e fluidos de corte, respectivamente, que são inerentes ao processo. Embora a usinagem dos materiais esteja diretamente relacionada à geração de cavacos, e necessite fazer uso dos fluidos de corte para obter melhores resultados do ponto de vista econômico, é necessário que estes resíduos recebam destinação adequada ao final do processo. Este estudo teve como principal objetivo analisar o processo de geração e manejo dos resíduos da usinagem dos materiais nas oficinas de usinagem na cidade de Governador Valadares-MG. Ao visitar as oficinas, foram observados os processos de usinagem, e coletado dados referentes aos parâmetros de corte da geração de resíduos sólidos e líquidos, que alimentaram um banco de dados para a elaboração de um fluxograma que pudesse servir para mapear o processo desde o seu início até o descarte que tais resíduos eram submetidos. Para tanto, o *software* Arena foi utilizado apenas na construção do fluxograma das atividades para que pudessem ser posteriormente analisadas. Assim, foi possível propor aos proprietários das oficinas em questão, alternativas para o descarte que visem à redução dos impactos ambientais por eles gerados.

**Palavras-chave:** Usinagem, Cavaco, Fluido de corte, Descarte

## **ABSTRACT**

The machining process is considered to be one of the most important activities in the manufacturing industry. This process is responsible for conferring shape, dimension, surface finish, and sometimes a combination of the three. However, the machining process produces solid waste known as chips. In order to reduce the cost of production and improve the quality of the surface finish it is also necessary cut fluid usage, which is considered waste material of the process as well as the chip. Although it is not possible to conceive the machining process without acquiring the solid and liquid waste, approaches to reduce their impact in the environment should still be used. This main purpose of this research was to analyze the generation of waste material in machining processes as well as your final destination in workshops in Governador Valadares-MG. While visiting the workshops, the machining processes were observed and it was possible to collect data from the different parameters of the process. The parameters had influence on the waste material in which the data was later used to construct the flowcharts. The flowcharts were mainly used to map the whole process in order to see what the final destination of the waste material was. The Arena Simulation Software was only used to construct the flowcharts, highlighting the activities to be studied later. Hence, the research allowed us to advise the workshops' owners regarding the actions they have to take to discard the material appropriately.

**Key-words:** Machining, Solid waste, Cutting fluid, Discard

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos de Fabricação.....	16
Figura 2: (a) Torno Universal ROMI e (b) Torno CNC ROMI.....	22
Figura 3: Ferramenta de Metal Duro (WC).....	23
Figura 4: Sequência de uma peça usinada – (a) Torneamento e (b) Fresamento .....	24
Figura 5: Operações no Torno Mecânico .....	26
Figura 6: Mecanismo de formação de cavaco .....	32
Figura 7: Variações na formação dos cavacos devido aos parâmetros.....	35
Figura 8: Fluido de Corte .....	36
Figura 9: Fluxograma de procedimentos .....	39
Figura 10: Torno mecânico.....	40
Figura 11: Visita técnica na oficina.....	43
Figura 12: Gráfico dos volumes de material em % .....	44
Figura 13: Cavaco de usinagem coletado em tambor.....	45
Figura 14: Fluido de corte (óleo solúvel) em oficina de Governador Valadares-MG.....	46
Figura 15: Fluido de corte descartado por uma oficina em Governador Valadares .....	47
Figura 16: Fluxograma do cavaco (Arena).....	48
Figura 17: Fluxograma do fluido de corte (Arena).....	49
Figura 18: Gráfico da destinação dos fluidos de corte em Governador Valadares-MG.....	50

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1	Tipos de fluido de corte	37
Tabela 2	Questionário dos tipos de fluido e seu descarte	46
Tabela 3	Proposta de reciclagem para oficinas de Governador Valadares-MG	51
Tabela 4	Técnicas de produção limpa	52

## **ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES**

PIB	Produto Interno Bruto	15
HSS	High Speed Steel	21
CNC	Comando Numérico Computadorizado	22
ISO	International Organization for Standardization	28
APC	Aresta Postiça de Corte	28
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	30
NBR	Norma Técnica	30
PIBIX	Programa Institucional de Bolsas de Extensão	42
IFMG	Instituto Federal de Minas Gerais	42
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente	48

## LISTA DE SÍMBOLOS

WC	Carboneto de Tungstênio – Metal Duro	23
$v_c$	Velocidade de Corte	27
f	Avanço	27
$a_p$	Profundidade de Corte	27
Fc	Força de Corte	27
$k_s$	Pressão Específica de Corte	27
P	Classe de materiais a base de carbono	28
TiC	Carboneto de Titânio	28
TaC	Carboneto de Tântalo	28
NbC	Carboneto de Nióbio	28
Co	Cobalto	28

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Formulação do problema.....	15
1.2	Justificativa.....	17
1.3	Objetivos.....	19
1.3.1	Objetivo Geral.....	19
1.3.2	Objetivos Específicos.....	19
1.4	Estrutura do trabalho.....	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
2.1	Breve histórico da usinagem dos materiais.....	21
2.2	Principais operações de usinagem no torneamento .....	25
2.3	Parâmetros de usinagem .....	27
2.3.1	Força e potência de usinagem.....	27
2.3.2	Temperatura no processo de usinagem.....	29
2.4	Resíduos dos Processos de Usinagem .....	30
2.4.1	O cavaco na usinagem dos materiais .....	31
2.4.2	Fluidos de corte.....	35
2.4.2.1	Funções dos fluidos de corte .....	36
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	Natureza da pesquisa .....	41
3.2	Classificação da pesquisa.....	41
3.3	Metodologia do projeto de pesquisa.....	42
4	PESQUISA DE CAMPO E RESULTADOS .....	43
4.1	Dados do cavaco (resíduo sólido).....	44
4.1.1	Materiais metálicos utilizados na usinagem .....	44
4.1.2	Coleta e armazenamento do cavaco.....	45
4.2	Dados do fluido de corte (resíduo líquido) .....	45
4.2.1	Tipo de fluidos utilizados .....	45
4.2.2	Coleta e armazenagem do fluido de corte .....	47
5	ANÁLISES DOS RESULTADOS .....	48
6	CONCLUSÕES .....	53
	REFERÊNCIAS.....	55
	ANEXO A: Formulário de resíduos sólidos .....	58
	ANEXO B: Formulário de resíduos líquidos.....	59

# 1 INTRODUÇÃO

Os processos de fabricação destacam-se por serem fundamentais para atividades manufatureiras. São os processos de fabricação os responsáveis por dar forma e dimensões para peças que posteriormente serão utilizadas pela indústria manufatureira para dar forma a um produto final. Entre os processos de fabricação, a usinagem dos materiais pode ser entendida como um processo industrial com remoção de material, gerando o resíduo sólido conhecido como cavaco. Este resíduo é fundamental para a usinagem por ser a partir da sua remoção que se confere formas, dimensões e acabamento superficial para as peças. Ou seja, não se pode falar em usinagem e ignorar a formação de cavaco. No entanto, um melhor entendimento desta porção retirada da peça torna-se fundamental uma vez que 10% de toda a produção mundial de metais são convertidos em cavaco, gerando assim o seu acúmulo no meio ambiente quando não descartado de maneira adequada.

Além disso, a usinagem dos materiais também faz uso de fluidos de corte, com objetivo de minimizar os custos e assegurar uma maior eficiência nas operações. Muniz (2008) diz que os fluidos de corte são utilizados largamente como resfriadores e como lubrificantes, tanto para garantir um melhor acabamento superficial, quanto para proteger as ferramentas de processos de corrosão e minimizar o seu desgaste. Dessa forma, os fluidos de corte são bem quistos no ato de lubrificação, com o intuito de aumentar a qualidade superficial da peça bem como reduzir as forças de corte e, sobretudo voltado para refrigeração, uma vez que possibilita a utilização de altas velocidades de corte no processo mantendo a temperatura de corte em níveis satisfatórios.

Por outro lado, os fluidos de corte também têm o seu aspecto negativo. Kopac (1998 apud MACHADO *et al.* 2009) alerta que os fluidos de corte podem ser nocivos à saúde de operadores que lidam diretamente com ele bem como prejudiciais ao processo, dependendo dos materiais utilizados, condições de corte e tipo de operação. Ainda, existe a necessidade no que diz respeito à devida destinação dos fluidos de corte após o seu uso. Nesse sentido, tal fato repercute de forma negativa na natureza, isto é, o descarte indevido pode, por exemplo, contaminar os cursos d'água bem como o solo.

Esse trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal fazer uma análise dos principais resíduos gerados no processo de usinagem, sendo eles sólidos (cavaco) e líquidos (fluidos de corte), com o auxílio de fluxogramas para detalhamento do processo

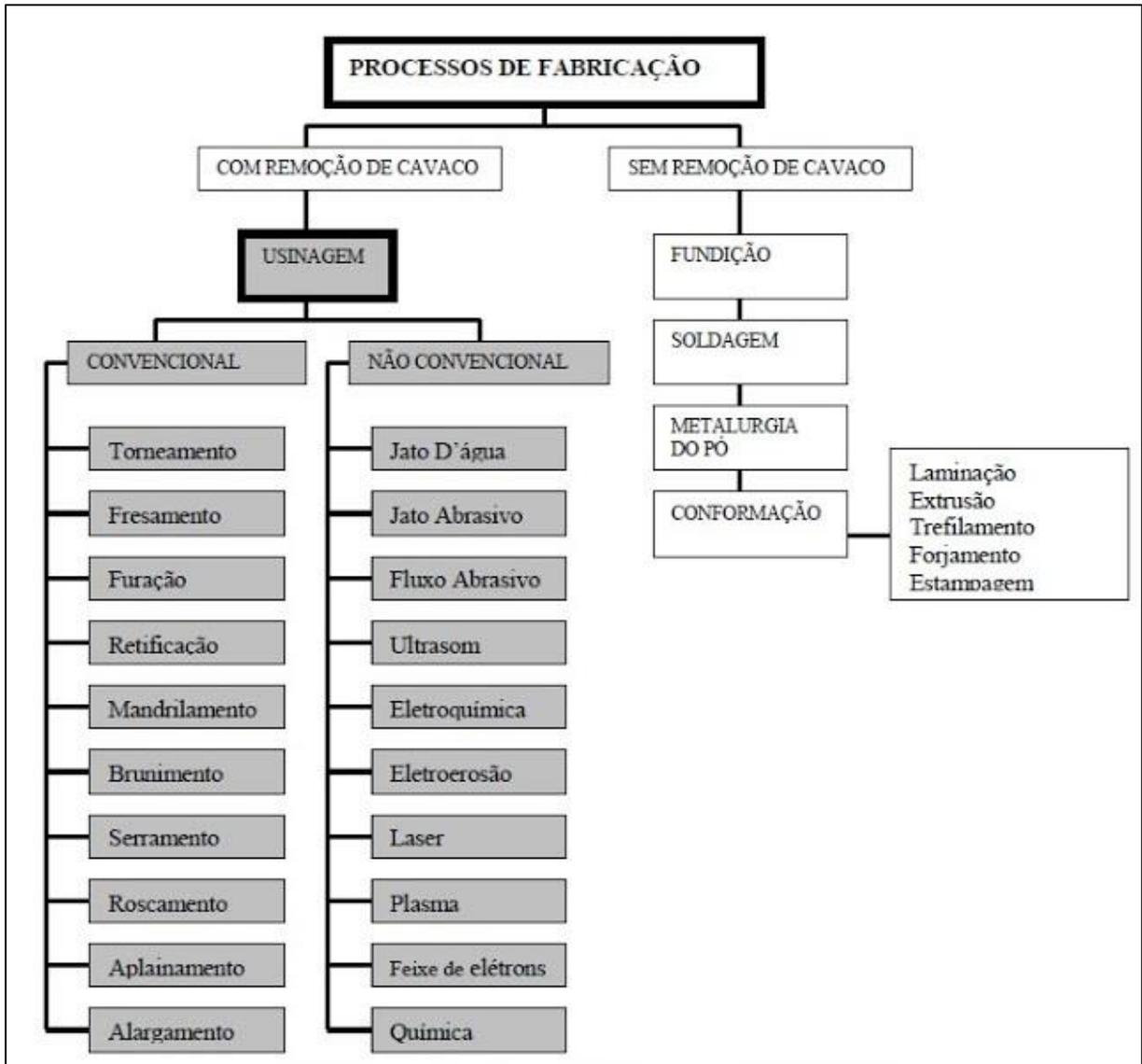
incluindo sua destinação final, para que assim seja possível ter um maior controle e propor melhorias na destinação dos mesmos.

### **1.1 Formulação do problema**

A atividade manufatureira nos dias atuais destaca-se como uma das atividades que mais contribui para a sociedade, gerando empregos, movimentando a economia e melhorando a qualidade de vida da população a partir dos bens por ela produzidos. De acordo com Kalpakjian (1995 *apud* MACHADO et al. 2009), em países industrializados a atividade manufatureira tem uma parcela consideravelmente alta do PIB (Produto Interno Bruto) daquele país, compreendendo por 20% a 30% do mesmo, e sendo considerado um indicativo confiável do padrão de vida da população. Machado *et al.* (2009) diz que a atividade manufatureira engloba tanto a produção de um simples parafuso, até uma aeronave completa, ou seja, é a transformação de matérias-primas em bens acabados. Enquanto a atividade manufatureira visa à concepção de produtos acabados, um processo industrial, para Gonçalves (2011), se refere aos procedimentos necessários para a manufatura de um ou vários itens na fabricação em grande escala. Os processos industriais surgiram com o intuito da indústria em conseguir melhorar variáveis como custo, tempo e qualidade.

Já os processos de fabricação são etapas, a partir das quais matérias-primas são transformadas em peças finais. O processo de fabricação começa com a criação de materiais que são desenvolvidos com a ajuda de desenhos técnicos. Esses materiais são então modificados através de processos de fabricação para se tornarem partes requeridas em processos posteriores.

Dentre os processos de fabricação mais conhecidos, podemos classifica-los em dois seguimentos: com remoção de cavacos, e sem remoção de cavacos. Na figura 1 observam-se os diferentes tipos de processos de fabricação:



**Figura 1: Processos de Fabricação**

Fonte: Simião (2011)

Nos processos classificados na Figura 1, a usinagem dos materiais destaca-se como um dos mais importantes. Sendo a usinagem um processo de fabricação com remoção de cavaco (resíduo sólido), a usinagem busca essencialmente conferir à peça forma, dimensões e acabamento, gerando, portanto, o resíduo sólido conhecido como cavaco.

Segundo Trent (1985 *apud* MACHADO et al. 2009), a usinagem pode ser reconhecida como o processo de fabricação com maior destaque e importância no mundo, uma vez que transforma em cavacos aproximadamente 10% de toda a produção de metais, e gera dezenas de milhões de empregos.

Entretanto, a usinagem dos materiais também traz algumas desvantagens, especialmente se levarmos em consideração o descarte dos resíduos sólidos no meio ambiente e a utilização dos fluidos de corte (resíduo líquido) no processo.

Muito se fala em fluídos de corte na usinagem dos materiais, entretanto seu uso ainda não é muito bem compreendido. A lubrificação e a refrigeração são as duas funções mais importantes para os fluídos de corte. Sendo assim, os fluídos são classificados em fluidos refrigerantes, e fluidos lubrificantes. O fluido refrigerante tem como finalidade evitar a excessiva geração de calor na operação, e possibilitar o uso de altas velocidades e forças de corte de usinagem, sem comprometer a vida útil das ferramentas e também garantir a precisão dimensional das peças usinadas. Aproximadamente 75% do calor gerado no processo é resultado da deformação do metal da peça, enquanto que os outros 25% acontecem em decorrência do atrito ferramenta/cavaco. Assim, a utilização de um fluido refrigerante capaz de reduzir essas altas temperaturas torna-se muito importante. Por outro lado, os fluidos lubrificantes visam reduzir o atrito existente entre a ferramenta de corte e o cavaco, penetrando por capilaridade. Essa redução do contato ferramenta/cavaco, ferramenta/peça, faz com que as forças de corte diminuam, e melhora-se a qualidade superficial da peça trabalhada (MUNIZ, 2008).

Os fluidos de corte têm, portanto, um papel fundamental no processo de usinagem. O objetivo final, e sem dúvida mais desejado ao se utilizar os fluidos de corte é reduzir o custo total de fabricação ou aumentar a taxa de produção (MACHADO *et al.* 2009). O alcance desse objetivo se dá a partir das vantagens conseguidas com a utilização dos fluidos, como o aumento da vida da ferramenta, a redução das forças de usinagem e, conseqüentemente, da potência, melhoria do acabamento da peça, facilidade de remoção de cavacos da região de corte, redução do risco de distorção da peça, entre outros.

Embora os fluidos de corte apresentem todas essas vantagens, ainda assim é possível enumerar um número também significativo de desvantagens apresentadas por esse fator. Considerando a forma com que são descartados na natureza, e o modo como afetam indiretamente o operador que faz uso do mesmo. Sendo assim, é necessário um estudo mais detalhado sobre fluidos de corte com relação à sua aplicação e também as formas de descarte e reutilização que são realizadas pelas empresas que fazem seu uso. Esse estudo possibilitará um conhecimento mais aprofundado do tema para que posteriormente seja sugeridas melhorias para a sua destinação.

## **1.2 Justificativa**

Segundo Costa & Santos (2006 *apud* SIMIÃO, 2011) é possível enumerar uma vasta gama de processos usados na transformação de metais e ligas metálicas em peças. Fundir,

soldar, utilizar a metalurgia do pó, ou usinar o material com o intuito de obter a peça desejada são exemplos de processos industriais que antecedem os processos de manufatura. Dentre os processos mencionados anteriormente, a usinagem destaca-se por utilizar produtos semiacabados (barras, tubos, perfis, chapas, etc.) como matéria-prima vinda do processo de fundição.

A usinagem é sem dúvida crucial no processo de fabricação de peças de diferentes complexidades. Para tanto, faz-se necessária a remoção de material em forma de cavacos (resíduo sólido). Durante os processos de usinagem, uma nova superfície é adquirida por meio da remoção de material na forma de cavacos. Estes por sua vez, variam morfológicamente em contínuos, descontínuos e segmentados (MACHADO *et al.* 2009). Essa variação na morfologia depende em muitos casos da natureza do material usinado. Materiais mais dúcteis tendem a produzir cavacos contínuos, enquanto materiais frágeis produzem cavacos segmentados. O estudo e controle desse resíduo são de grande importância na usinagem já que em muitos casos não é reaproveitado em processos subsequentes. Embora o conhecimento desse resíduo sólido seja importante nos processos industriais, os fluidos de corte também apresentam parcela significativa dentre os rejeitos provenientes da usinagem.

De acordo com Machado *et al.* (2009), pode-se afirmar que o uso de fluidos de corte se faz necessário para a obtenção de um melhor processo de usinagem. Essa melhoria é conseguida a partir da redução do desgaste da ferramenta de corte, um maior controle térmico e também com o aumento da qualidade superficial conferida à peça. Todos esses fatores trazem grandes vantagens competitivas para a indústria uma vez que a mesma conseguirá prover um produto com melhor acabamento, em um menor tempo de produção com um menor custo de fabricação. Todavia, Alves (2008) alerta para os riscos e desvantagens causados pelos fluidos de corte devido aos efeitos negativos causados no meio ambiente, a partir do seu descarte, e danos à saúde do operador que lida diretamente com o insumo. Quando descartado de maneira inapropriada, o fluido de corte causa danos ao solo e as fontes de água, enquanto os operadores sofrem com problemas respiratórios e de pele.

Esse trabalho teve origem na necessidade de se fazer um estudo detalhado acerca da destinação dos cavacos (resíduos sólidos) e dos fluidos de corte (resíduos líquidos) utilizados nos processos de usinagem, especificamente a usinagem de materiais no torno mecânico universal. A geração dos cavacos é inerente a usinagem dos materiais, sendo impossível conceber este último sem falar na remoção de material da peça. Por outro lado, a utilização dos fluidos lubrificantes e refrigerantes se faz necessário no contexto atual de competitividade entre as empresas, visando a redução dos custos de produção e otimização dos processos.

Entretanto, existem contrapontos que necessitam ser analisados para um melhor uso desses recursos, principalmente no que diz respeito às normas ambientais. Sendo assim, este trabalho de conclusão de curso visa prioritariamente analisar o processo de descarte dos cavacos e dos fluidos de corte, e a partir da constatação de descarte irregular, propor soluções de melhoria para descarte adequado dos resíduos gerados no processo.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Analisar os tipos de resíduos (sólidos na forma de cavacos, e líquidos como os fluidos de corte) gerados pelas oficinas de usinagem visitadas, bem como os métodos de destinação adotados pelas mesmas.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Visitar oficinas de usinagem na cidade de Governador Valadares e identificar os tipos de cavacos gerados e os fluidos de corte utilizados
- Fazer levantamento das práticas utilizadas no descarte dos resíduos, bem como sua destinação final
- Verificar os métodos utilizados para a coleta, armazenamento, reuso e/ou descarte dos cavacos no meio ambiente
- Investigar a existência do uso de técnicas para prever os tipos de cavacos provenientes em cada operação de usinagem e fazer o fluxograma deste resíduo com o uso do Arena
- Desenvolver o fluxograma do processo, desde o início do uso do fluido até o seu descarte, utilizando o software Arena
- Apurar os diferentes tipos de fluidos de corte utilizados seja eles lubrificantes ou refrigerantes e os prejuízos e benefícios por eles causados
- Analisar a partir do fluxograma o percentual de resíduos descartados no meio ambiente de maneira irregular
- Discutir ações de melhoria para serem implementadas a fim de reduzir impactos ambientais identificados
- Posteriormente propor melhorias para a destinação dos resíduos visando mitigar os prejuízos ambientais.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Capítulo 1: Inicialmente é feita uma síntese da atividade manufatureira enfatizando a usinagem dos materiais. Ainda no primeiro capítulo é introduzida a justificativa e os objetivos do trabalho.

Capítulo 2: aborda conceitos importantes da usinagem, além de discorrer sobre os parâmetros de corte no processo, sendo eles a força e potência de corte, e as temperaturas durante a usinagem. Finalmente, os resíduos da usinagem (cavacos e fluidos de corte) são discutidos mais detalhadamente.

Capítulo 3: metodologia do processo englobando a revisão bibliográfica, visitas técnicas realizadas para coleta de dados, e utilização do Arena.

Capítulo 4: pesquisa de campo é detalhada para mostrar como tudo ocorreu na prática, e apresentar os dados coletados ao longo das visitas.

Capítulo 5: é feita a análise das informações conseguidas e utiliza-se o *software* Arena para ilustrar o ciclo de todos os resíduos no processo de usinagem. Essa análise servirá de embasamento para a conclusão do trabalho.

Capítulo 6: conclusão e discussão dos resultados mostrando apontando quais resíduos estão de acordo e quais necessitam ter seus processos de descarte repensados, além de recomendar novos métodos de gerenciamento dos recursos são feitas visando diminuir as irregularidades encontradas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica na qual este trabalho foi desenvolvido. Foi feita a revisão da literatura a fim de obter maiores informações referente ao tema em questão com ênfase nos conceitos da usinagem dos materiais e uso do torno mecânico convencional. Além disso, foi feito o estudo dos principais parâmetros de corte e dos resíduos oriundos do processo de usinagem, sendo eles os resíduos sólidos (cavacos) e os resíduos líquidos (fluidos de corte). Essa revisão da literatura possibilitou um entendimento mais profundo sobre a usinagem dos materiais enquanto processo de fabricação, suas características mais importantes, e os resíduos gerados, para que posteriormente fosse possível fazer a análise da destinação dos resíduos e recomendar alternativas de descartes como este trabalho propõe.

### 2.1 Breve histórico da usinagem dos materiais

Antes da revolução industrial no século XVIII, a madeira destacava-se como principal material utilizado pela indústria. Era a madeira que dava forma às peças avulsas e até mesmo produtos acabados. Existia, porém, outros tipos de materiais utilizados para essa finalidade, mas a madeira despontava como carro chefe. Nesse período, a ferramenta de corte responsável pela usinagem da madeira era o aço-carbono.

Embora o aço-carbono tenha sido útil para a usinagem da madeira, o crescimento da produção de bens de consumo devido à revolução industrial fez com que a indústria buscasse novas matérias-primas para a confecção de produtos com maior qualidade. A partir de então, materiais mais resistentes foram inseridos na indústria, acarretando na busca pelo desenvolvimento de ferramentas capazes de usinar os novos materiais. Como consequência disso, houve o desenvolvimento dos aços-ligas como ferramenta de corte, e posteriormente dos aços-rápidos (HSS).

Quando descoberto, o aço-rápido (HSS) representou um grande avanço para os processos de usinagem, permitindo que as velocidades de corte fossem aumentadas em até 10 vezes se comparado ao que era conseguido com as ferramentas de aço-carbono. Conseqüentemente, o tempo de corte foi significativamente diminuído, possibilitando a usinagem de mais peças em um menor tempo, revolucionando a usinagem dos materiais (MACHADO *et al.* 2009).

Após todos os ganhos conseguidos através do desenvolvimento de ferramentas de corte, como o caso dos aços-ligas e do aço-rápido (HSS) que aumentaram a produtividade da indústria utilizando-se altas taxas de velocidades de corte, o uso da água e do vapor como fontes de energia permitiu que a indústria vislumbrasse um acentuado progresso. Machado *et al.* (2009) mostra que esse progresso foi oriundo da criação das máquinas-ferramentas que faziam uso da energia provinda do vapor d'água. As máquinas ferramentas possibilitaram a criação de novas máquinas e instrumentos para substituição dos trabalhadores.

Segundo McGeough (1988), John Willkinson foi o primeiro a apresentar uma contribuição relativamente importante para a usinagem em 1774, construindo uma máquina para mandrilhar cilindros de máquinas a vapor, que a princípio, eram usinados com equipamentos para mandrilhar canhões, não sendo capazes de garantir a requerida exatidão.

Trent (1985) diz que o ferro fundido, o latão e o bronze, eram os materiais mais indicados na construção das máquinas a vapor, pois eram facilmente usinados com a utilização de ferramentas de aço-carbono disponíveis na época.

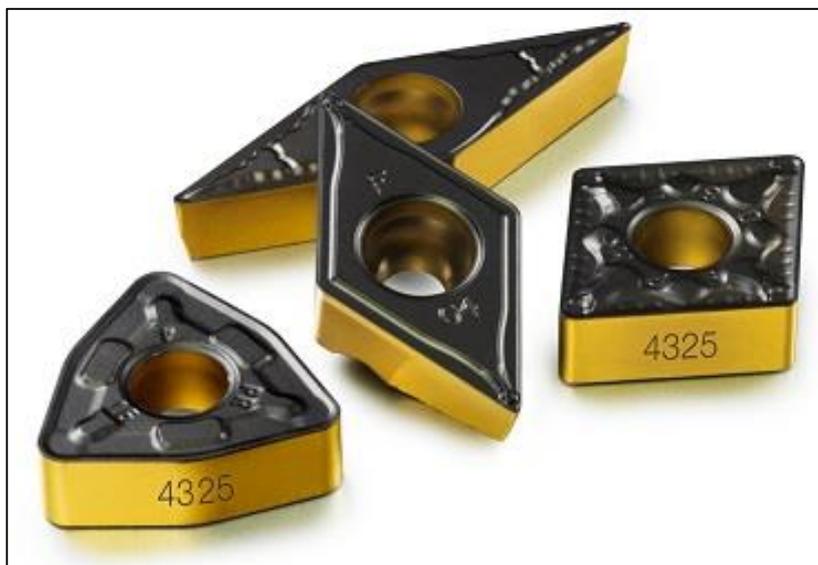
O primeiro torno mecânico com avanço automático foi desenvolvido em 1797 por Henry Maudslay, possibilitando a produção de roscas com passo definido. Após surgimento da mandriladora e do torno, surgiu a plainadora, e no ano de 1860 a retificadora. No ano de 1862, J. R. Brown criou a primeira fresadora universal, usada na confecção de canais em brocas helicoidais. Porém, foi no ano de 1896 que F. W. Fellows desenvolveu uma máquina que tinha a capacidade de confeccionar praticamente qualquer tipo de engrenagem. Na figura 2 observa-se duas máquinas essenciais para a usinagem dos materiais, o torno universal e o torno com Comando Numérico Computadorizado (CNC).



**Figura 2: (a) Torno Universal ROMI e (b) Torno CNC ROMI**

Fonte: Souza (2011)

O torno universal caracterizado na figura 2 foi concebido no ano de 1797, entretanto o torno CNC só foi desenvolvido dois séculos depois, em 1978. A partir do século XX a usinagem de materiais teve seu desenvolvimento mais significativo. Com o surgimento de materiais mais duráveis, e obviamente mais difíceis de serem usinados, a busca e o desenvolvimento de novas ferramentas que fossem capazes de usina-los foi essencial. Dentre as ferramentas que surgiram para esse fim, é possível destacar as ferramentas de aço rápido (HSS), e posteriormente de carboneto de tungstênio (WC). Um exemplo de ferramenta de metal duro pode ser verificado na figura 3.



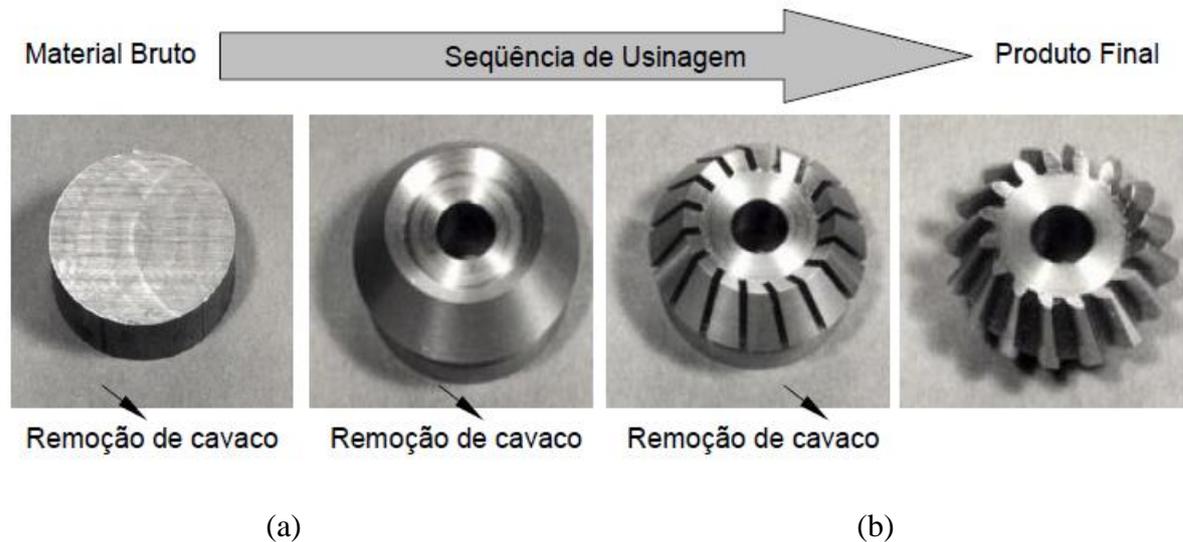
**Figura 3: Ferramenta de Metal Duro (WC)**

**Fonte:** Sandvik (2013)

Essas duas ferramentas foram cruciais para a usinagem de aços e de outros materiais metálicos que tinham uma produtividade crescente. Porém, os avanços tecnológicos no campo das máquinas-ferramentas, o desenvolvimento de máquinas automáticas, e por fim de máquinas comandadas numericamente por computador (CNC), tiveram significativa influência na confecção de aços e outros matérias metálicos que possuíam maiores demanda. Finalmente, os processos não convencionais de usinagem ganharam maior visibilidade a partir da década de 1940, devido ao fato de conseguirem fabricar peças com geometria muito complexas em materiais de difícil usinabilidade, conseguindo atingir níveis altíssimos de acabamento superficial e tolerâncias estreitas.

A usinagem é, portanto, definido como sendo um processo de fabricação cuja característica principal que a difere de outros processos é o fato de remover da peça usinada o cavaco, sendo este o resíduo proveniente da peça. É a partir da remoção do cavaco que se

obtem a peça nos moldes que se espera. Ou seja, a usinagem é responsável por conferir à peça, forma, dimensões e acabamento, produzindo como rejeito do processo o cavaco. Essa peculiaridade faz com que a usinagem dos materiais seja reconhecida como um processo complexo e simples ao mesmo tempo. Essa afirmação paradoxal é sustentada pelo fato de a usinagem requerer operadores bastante capacitados e hábeis para tomar decisões referentes às inúmeras variáveis existentes no processo, exigindo do operador o conhecimento não só dessas variáveis, como também de materiais de peças e ferramentas, com o intuito de obter o melhor trabalho possível ao passo que também reduz custos de produção. Em contrapartida, após definir todos esses parâmetros, o processo é executado sem que o operador precise interferir, se mostrando muito simples (MACHADO *et al.* 2009). Na figura 4 verificam-se as etapas da remoção do cavaco conferindo à peça o formato desejado.



**Figura 4: Sequência de uma peça usinada – (a) Torneamento e (b) Fresamento**  
**Fonte:** Souza (2011), ADAPTADO (2016)

O fator complexidade deve-se a natureza essencialmente prática da usinagem, envolvendo um alto número de variáveis. Segundo Shaw (1984, apud MACHADO *et al.* 2009), mesmo sendo praticamente impossível prever quão perfeito e dentro dos padrões exigidos será a usinagem em determinado material, ainda assim, estudos detalhados do processo têm seu valor e importância para o desenvolvimento e aperfeiçoamento desse processo industrial. A partir do aprofundamento nessa ciência, o detalhamento de cada operação e as diferentes interpretações, ajuda àqueles que trabalham nessa área chegarem cada vez mais perto de prever o comportamento de determinado processo.

Black (1995 *apud* MACHADO et al. 2009) afirma que a impossibilidade de prevermos o resultado final de uma usinagem, está diretamente relacionada ao fato de esse ser o único processo de deformação plástica em que a única restrição é oferecida pela ferramenta de corte. O alto número de parâmetros de entrada que devem ser definidos anteriormente à usinagem, possibilita que um imenso número de combinações seja permutado com o intuito de se usinar a peça. É esse alto número de combinações que faz com que o processo torne-se complexo.

Especialistas dizem que existem apenas três maneiras de solucionar esse problema, sendo elas: a experiência diária adquirida pelos operados ao longo dos anos após sucessivas operações, basicamente a partir de tentativas e erros, além de comparações com situações semelhantes; também, por meio da experimentação, que se mostra não somente onerosa, mas também relativamente demorada quando comparada com as demais, e limitada a somente uma operação, não sendo possível a sua generalização; finalmente, o auxílio de modelos matemáticos sofisticados podem ser encarados como um aliado na busca pela perfeição da usinagem, indo estes desde modelos simplistas, até fórmulas altamente sofisticadas. É necessário, entretanto, observar que para se alcançar resultados mais positivos no campo da usinagem recomenda-se a utilização de no mínimo duas das técnicas mencionadas anteriormente, sendo que em muito dos casos recomenda-se o uso das três.

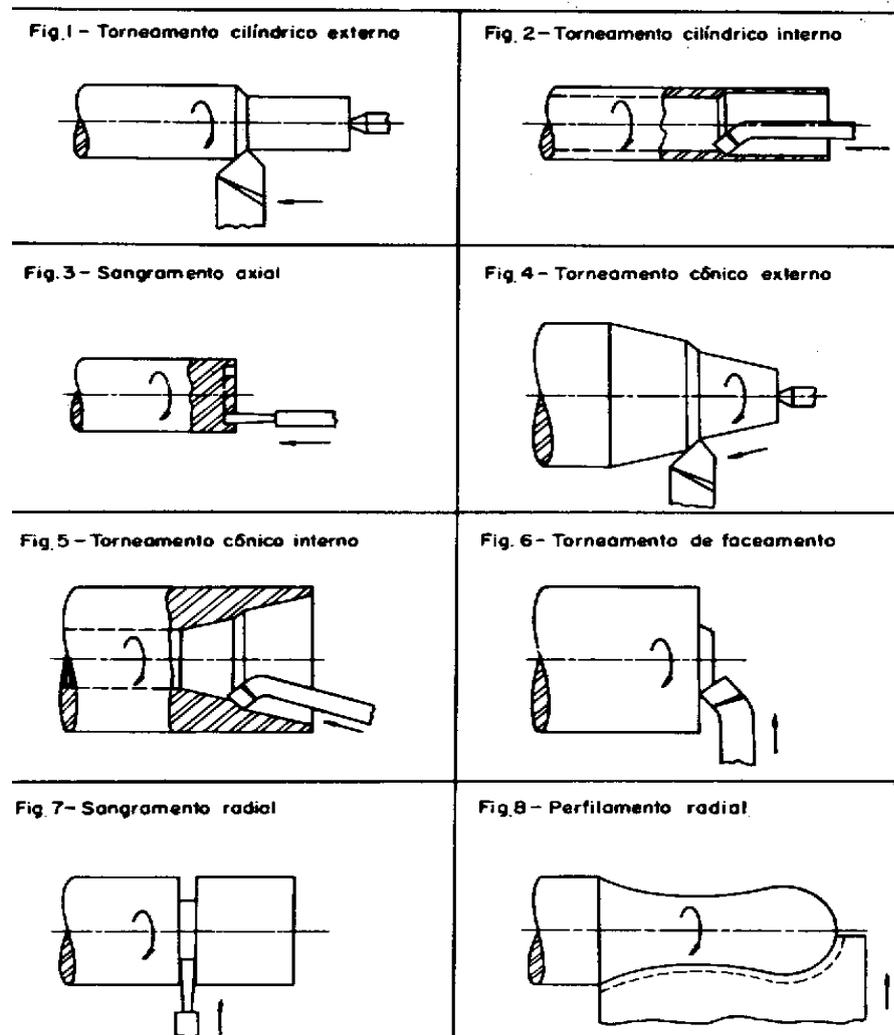
## **2.2 Principais operações de usinagem no torneamento**

Machado *et al.* (2009) destaca as principais operações de usinagem convencional executadas com ferramentas de geometria definida, e as divide em grupos separados de acordo com a máquina-ferramenta utilizada no processo. As operações mostradas por ele podem ser classificadas como operações de desbaste e acabamento, sendo que no desbaste o principal objetivo é remover o máximo possível de material na forma de cavaco, sendo assim limitado pela potência da máquina-ferramenta. Já o processo de acabamento, é realizado após o processo de desbaste, sendo este, responsável por conferir à peça a qualidade superficial desejada.

Neste contexto de máquinas-ferramentas, o torno mecânico destaca-se como uma das mais versáteis, sendo capaz de realizar as operações de desbaste e também as operações de acabamento. Conhecido também como máquina ferramenta fundamental, o torno é considerado a máquina-ferramenta capaz de realizar o maior número de operações se

comparado às demais. Aliás, foi a partir dele que se deu a criação de novas máquinas-ferramentas.

Dessa maneira, o processo de torneamento realizado pelo torno mecânico foi estudado detalhadamente neste trabalho devido à identificação de várias atividades por ele realizadas. Além do mais, exatamente por habilitar que operador desenvolva uma gama de processos distintos, o uso do torno mecânico é muito corriqueiro nas oficinas de usinagem, proporcionando assim, que seja mais facilmente estudado. Os processos realizados pelo torno universal são: torneamento cilíndrico externo e interno, torneamento cônico externo e interno, faceamento, perfilamento e sangramento, como observado na figura 5.



**Figura 5: Operações no Torno Mecânico**  
 Fonte: Machado *et al.* (2009)

## 2.3 Parâmetros de usinagem

Na usinagem dos materiais, a definição dos parâmetros de corte é algo considerado crucial no desenvolvimento das peças, e também na análise econômica da operação. Os parâmetros de corte conhecidos da usinagem são: velocidade de corte ( $v_c$ ), avanço ( $f$ ) e profundidade de corte ( $a_p$ ) (SOUZA, 2011). A seleção correta e mais benéfica desses parâmetros está também atrelada a outras variáveis de entrada que devem ser escolhidas antes do início da operação: quantidade total de material a ser removido, os materiais da peça e da ferramenta, e as operações de corte envolvidas.

Assim, a escolha dos parâmetros de corte irá acarretar no uso mais ou menos intenso da máquina-ferramenta escolhida, nesse caso o torno mecânico. Dessa forma, variáveis como força de corte ( $F_c$ ) e potência, além da temperatura do sistema ferramenta/peça/cavaco dependerá dos parâmetros de corte selecionados inicialmente, podendo afetar significativamente o processo de usinagem do ponto de vista econômico.

### 2.3.1 Força e potência de usinagem

Segundo Machado *et al.* (2009), no início do século XX cientistas chegaram a algumas conclusões acerca da relação da seção do cavaco com os componentes da força de corte aplicada na operação de usinagem. A partir de experimentos, eles concluíram que existe uma relação quase linear entre os componentes da força e a seção do cavaco, sendo a força de corte ( $F_c$ ) o fator de maior destaque da potência de usinagem. É fundamental o conhecimento das forças de corte para que seja possível selecionar o motor mais indicado, e realizar um melhor projeto de máquinas-ferramentas. As forças que agem sobre a cunha cortante também possibilitam conhecer a potência necessária para o corte, bem como prever o desgaste das ferramentas de corte, a fim de fazer uma melhor análise técnica e econômica.

Muitos são os fatores que apresentam relevância na determinação das forças de corte, entre eles destacam-se: material da peça, material e geometria da ferramenta, área da seção de corte, velocidade de corte, condições de lubrificação e refrigeração, desgaste da ferramenta. Com relação ao material da peça, para os aços-carbono, é possível afirmar que a concentração de carbono no material tem grande influência sobre o aumento ou diminuição da pressão específica de corte ( $k_s$ ). Já a respeito do material e geometria da ferramenta, é sabido que tanto a utilização de um material diferente para a ferramenta, quanto a qualidade superficial da superfície de saída, terá impacto significativo no coeficiente de atrito entre ferramenta/cavaco,

consequentemente impactando a pressão específica ( $k_s$ ). Entretanto, alguns estudos mostram que variando o material da ferramenta de corte dentro da classe ISO P de carboneto, recomenda-se ignorar variação na pressão específica.

Tal classe é também conhecida como a “classe dos aços ou dos materiais que produzem cavacos longos”, e tem a cor azul como cor de referência nos catálogos. Dessa maneira, os materiais de classe P, padronizados e classificados pela norma ISO 513/2004, são aqueles que possuem adição de TiC (carboneto de titânio), TaC (carboneto de tântalo), e/ou NbC (carboneto de nióbio) (MACHADO *et al.* 2009).

Essas variações na composição química dos materiais ocorrem com o intuito de melhorar determinada propriedade da ferramenta. Pesquisadores argumentam que embora seja possível o ganho e melhora de certas características do material, como exemplo, o aumento da dureza (alta resistência ao desgaste) do metal duro (HSS) com a adição de carbonetos de titânio (TiC), ou aumento da tenacidade (medida da energia absorvida no processo de fratura) com o acréscimo de cobalto (Co), não verifica-se na prática um material que satisfaça todas essas qualidades (MACHADO *et al.* 2009).

O terceiro fator elencado pelo autor é a área da seção de corte, que segundo ele, possui uma relação direta de proporcionalidade com a pressão específica de corte, ou seja, à medida que diminuimos a área da seção de corte, também o fazemos com a pressão específica. Quando há utilização de uma baixa velocidade de corte na usinagem de materiais maleáveis, ocorre o fenômeno conhecido por Aresta Postiça de Corte (APC) que é a aderência do material da peça na superfície da cunha cortante devido à irregularidades no processo. Essa modificação da geometria da ferramenta implica na variação dos valores de ( $k_s$ ) dependendo do tamanho da APC.

As condições de lubrificação com a utilização de fluidos de corte também se mostram muito importantes para o decréscimo das forças de corte. Para que o fluido de corte seja realmente eficiente nesse processo, a sua penetração é fundamental. O sucesso na diminuição de ( $k_s$ ) dependerá fortemente da penetração desse fluido, crucial para a redução do coeficiente de atrito entre cavaco e ferramenta.

Último, mas não menos importante é o desgaste da ferramenta. De acordo com Machado *et al.* (2009) esse fator possui duas situações diferentes. O primeiro tem relação com o chamado “desgaste de flanco” que ocorre prioritariamente na superfície de folga da ferramenta, e mostra-se de difícil controle mesmo em condições favoráveis. Com o desgaste de flanco, a pressão específica aumenta de acordo com o aumento do desgaste devido ao atrito

ferramenta/peça. Em contrapartida, o “desgaste de cratera”, verificado na superfície de saída, não tem quase nenhuma interferência no crescimento de ( $k_s$ ).

Em suma, a força de usinagem é significativamente afetada pelos empecilhos encontrados na interface ferramenta/cavaco, sendo que a utilização de métodos e fatores capazes de ajudar a melhorar o deslizamento desses resíduos sólidos pela superfície, são de real importância para a diminuição das forças de corte. Entretanto, é forçoso dizer que também o material da peça atua como fator relevante para o estudo dessas forças.

### 2.3.2 Temperatura no processo de usinagem

Segundo Machado *et al.* (2009) a usinagem dos materiais é considerada um processo paradoxal. Esse paradoxo está diretamente ligado ao fato de ser considerado um processo fácil e complexo ao mesmo tempo. A dificuldade do processo tem origens na complexidade de se definir todos os parâmetros de corte previamente com a finalidade de se obter o melhor resultado ao menor custo possível. É necessário, portanto, que se tenha perícia nessa etapa. Por outro lado, após a configuração inicial dos parâmetros, o processo flui quase que automaticamente não exigindo a presença do operador.

Nesse processo de configuração dos parâmetros e seleção dos materiais a serem utilizados na operação, um fator que pode ser consideravelmente alterado é a temperatura de corte. É sabido que para conseguir melhores resultados do ponto de vista econômico, o tempo de operação e produção de uma determinada peça é fundamental. Assim sendo, em muitos casos é necessário que se aumente parâmetros de corte que interferem drasticamente no aumento da temperatura. Seriam eles: velocidade de corte, avanço e profundidade de corte.

Para Trent (1988 apud MACHADO *et al.* 2009), embora seja necessário do ponto de vista produtivo o aumento da velocidade e outras variáveis, deve-se ter em mente que a maior parte da potência consumida na usinagem é convertida em calor nas proximidades da aresta cortante, implicando em uma série de resultados indesejáveis. Dessa forma, a necessidade de um maior entendimento dos fatores que influenciam a geração de calor, bem como a forma com que essa temperatura é distribuída na ferramenta e na peça são extremamente importantes para a usinagem dos materiais.

No final do século XVIII estudos começaram a ser realizados com o intuito de descobrir as reais implicações da variação da temperatura no processo. A partir dos estudos realizados pelo conde Rumford (Benjamim Thompson) ficou provado que toda a energia mecânica envolvida na usinagem era convertida em energia térmica, interferindo de forma

negativa nos custos de produção devido à diminuição da vida útil da ferramenta provocada pelo aumento no atrito ferramenta/cavaco. Com esse aumento de temperatura, observa-se também um decréscimo na resistência ao cisalhamento e dureza do material. Em casos extremos, verifica-se a possibilidade de a aresta de corte chegar a fundir-se.

De acordo com Machado *et al.* (2009), tanto o cavaco, como a peça e a ferramenta de corte na própria máquina sofrem deformações diretamente provocadas pela força de usinagem. Também, há o atrito entre a superfície de saída e o cavaco, quando este se desloca pela superfície da ferramenta. A soma dessas forças (de deformação e atrito) é convertida em calor, que juntamente com as massas, a geometria e as propriedades térmicas dos materiais em questão, proporciona o surgimento de vários campos de temperaturas com distribuições próprias.

Esses processos de geração de calor, assim como de sua dissipação não são considerados tão simples. Observa-se que os materiais expostos a tais temperaturas apresentam alterações físicas e mecânicas que comprometem sua vida útil à medida que aumentam o seu desgaste. Para Pankine (1965 apud MACHADO *et al.* 2009) os desgastes conseguidos pelo aumento da temperatura terão papel importante na manutenção de um círculo vicioso determinante para o prejuízo e conseqüente impedimento do uso da ferramenta. Isso acontece, pois o desgaste gerado irá provocar mais atrito, que acarretará em mais calor gerado e por fim elevação da temperatura.

## **2.4 Resíduos dos Processos de Usinagem**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), a partir da norma técnica NBR 10.004/2004, define resíduos como: “resíduos no estado sólido e semi-sólido que resultam das atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e mesmo da varrição pública. Também podem ser inclusos como resíduos os lodos de tratamento de águas, aqueles gerados em equipamentos de controle de tratamento de poluição, bem como os líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004). Entretanto, para Castro (2010 apud SIMIÃO, 2011) os resíduos não são estritamente nocivos, e em muitos casos podem ser transformados em subprodutos ou mesmo utilizados como matéria prima em outra linha de produção.

Para Georgen e Ferraresi (2001 *apud* CASTRO, 2010) as empresas estão cada vez mais engajadas nas questões ambientais, vendo nelas uma grande possibilidade de aceitação de seus produtos nos mercados interno e externo. Para essas empresas, adaptarem-se as novas práticas ou perder seu espaço no mercado é um dilema constante. Nesse contexto, os resíduos provenientes da usinagem dos materiais são de grande interesse para as empresas que lidam diretamente com a sua geração e almejam estar em acordo com as normas ambientais vigentes.

Dentre os resíduos da usinagem dos materiais, é possível destacar dois tipos como mais importantes: cavacos (resíduos sólidos) e fluidos de corte (resíduos líquidos). Os cavacos são intrínsecos do processo de usinagem dos materiais e podem ser reciclados quando vendidos como sucata. Porém, caso os cavacos estejam contaminados com os fluidos de corte, eles terão um menor valor agregado. Os fluidos de corte por sua vez, devem seu uso especificamente devido as vantagens econômicas trazidas para a usinagem. A utilização dos fluidos de corte aumenta a vida da ferramenta, minimiza a geração de calor durante o processo, auxilia na remoção de cavacos e melhora a eficiência do sistema. Apesar dessas vantagens, os fluidos de corte são considerados perigosos, necessitando de um maior controle.

#### **2.4.1 O cavaco na usinagem dos materiais**

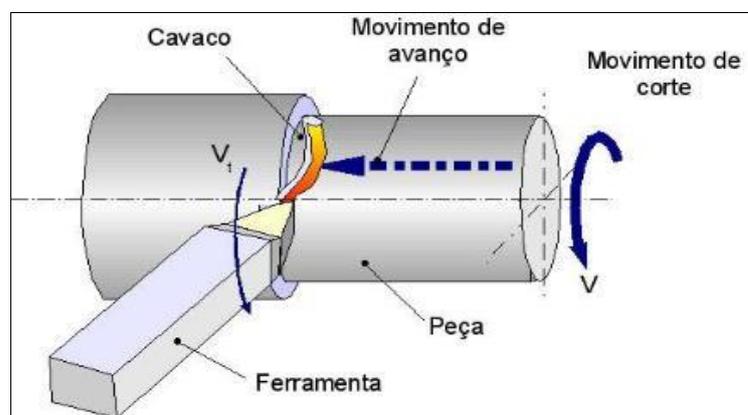
O estudo da formação de cavacos tem proporcionado grande avanço para um melhor entendimento dos processos de usinagem. Além disso, conhecer como se formam os resíduos sólidos é de suma importância para que possam ser feitas melhorias nas ferramentas de corte utilizadas no corte do material, sem contar na utilização de novos e mais eficazes materiais para ferramentas, podendo usinar um número ainda maior de materiais. Segundo Machado *et al.* (2009) o cavaco é formado a partir de altas velocidades de deformação, seguidas de ruptura do material da peça. O processo é dividido em quatro etapas para facilitar o entendimento:

- Recalque inicial: Ocorre a partir da penetração da cunha de corte da ferramenta no material da peça, fazendo com que uma pequena parte desse material seja pressionada contra a superfície de saída da ferramenta.
- Deformação e ruptura: A obtenção do cavaco, ou seja, a ruptura dessa porção de material ocorre após o material ser pressionado e sofre deformações elásticas e plásticas,

respectivamente, que aumentam progressivamente, até que o estado de tensões provoque a sua ruptura. Na maioria dos casos, esse processo de ruptura ocorre por cisalhamento, mesmo que haja um estado de tensão que combina tensões de compressão/tração e de cisalhamento que leve o material a ruptura, devido à natureza frágil ou dúctil do material.

- Deslizamento das lamelas: Com a continuidade da penetração da ferramenta na peça, será obtida uma ruptura parcial, ou completa, na região de cisalhamento, que dependerá da extensão da propagação da trinca. De acordo com Machado *et al.* (2009) essa trinca é formada ainda na segunda etapa (deformação e ruptura) após a ruptura do material. A trinca por sua vez, se propaga seguindo um critério de propagação de trincas intrínseco a cada tipo de material. Com relação à ruptura parcial ou completa, além de dependerem da extensão de propagação da trinca, irão variar de acordo o tipo de material da peça, além das condições de avanço e velocidade de corte, influenciando diretamente o tipo de segmento de material rompido que permanecerá, ou não no cavaco, dando origem a cavacos contínuos ou descontínuos.
- Saída do cavaco: O movimento relativo entre ferramenta de corte e material faz com que o cavaco escorregue sobre a superfície de saída da ferramenta. Após esse evento, uma nova porção do material (adjacente à porção anterior) passará pelo mesmo processo. Essa nova lamela também escorregará pela superfície de saída, criando um ciclo no processo.

É possível notar o mecanismo de formação do cavaco observando a figura 6.



**Figura 6: Mecanismo de formação de cavaco**

**Fonte:** Stoeterau (2004)

Para Machado *et al.* (2009) a classificação dos cavacos pode ser obtida a partir da sua morfologia. Segundo ele, os cavacos podem ser classificados como *contínuos*, *descontínuos* e *segmentados*. Essa diferença ocorre principalmente devido às propriedades dos materiais usinados. Cavacos contínuos tendem a ser provenientes da usinagem de matérias dúcteis, enquanto os descontínuos surgem da usinagem de materiais frágeis, formando assim um fluxo de material quebrado em pequenos pedaços. A obtenção de cavacos curtos é vantajosa para o processo. Dependendo do tipo de material usinado, como no caso do ferro fundido e do bronze, o rompimento do cavaco pode acontecer de forma natural durante a sua formação, ou então sua quebra pode ser conseguida com a utilização de quebra-cavacos, alterando apenas a forma do resíduo. Todavia, ainda é possível que se faça uma classificação mais minuciosa dos tipos de cavaco, sendo ele contínuo, parcialmente contínuo, descontínuo e segmentado.

- ❖ Cavacos Contínuos: São formados na usinagem de materiais dúcteis, como aços de baixa liga, alumínio e cobre. Nesse tipo de situação, o material cisalha na zona primária de cisalhamento com grandes deformações, permanecendo homogêneo, sem que se fragmente. Mesmo não existindo nenhum sinal de fratura ou trinca na fita externa, a ocorrência desses fenômenos são muito importantes para que uma nova superfície seja formada.

Entretanto, os cavacos contínuos não são considerados benéficos para a usinagem. Eles podem causar acidentes, danificar a superfície usinada, entre outros prejuízos. Em caso de não se quebrarem voluntariamente, um mecanismo auxiliar deve ser inserido no processo com vista a eliminá-lo, neste caso o quebra-cavaco é o mais indicado para promover a segmentação.

- ❖ Cavacos parcialmente contínuos: Esse cavaco é considerado um caso a parte. Não se trata de um cavaco contínuo, e tampouco descontínuo. Ele é classificado como um cavaco intermediário em que a trinca se propaga pela extensão do plano de cisalhamento de maneira parcial. Muitos autores o chamam “cavaco de cisalhamento” (FERRARESI, 1977). Para Cook (1954 apud MACHADO *et al.* 2009) existem dois fatores responsáveis por interromper a propagação da trinca: perda do contato entre a ferramenta e o cavaco e em segundo lugar, deve-se isso à presença de grande tensão de compressão no plano de cisalhamento, dificultando a propagação da trinca.

- ❖ Cavacos descontínuos: Essa classe de cavacos tem suas origens na usinagem de materiais mais frágeis, como é o caso do bronze e do ferro fundido cinzento, que se destacam por não suportar grandes deformações sem se quebrar. Outros fatores que também podem influenciar nos tipos de cavacos produzidos, são a velocidade de corte, o ângulo de saída e o avanço. É sabido que a temperatura de corte está diretamente relacionada à velocidade de corte. Sendo assim, é possível que se consiga obter cavacos descontínuos utilizando-se de baixas velocidades de corte, bem como ângulos de saída pequenos e grandes avanços.
  
- ❖ Cavacos segmentados: Segundo Cook (1954 apud MACHADO *et al.* 2009) acontece um decréscimo da resistência mecânica do material da peça no momento do corte devido ao aumento da temperatura (provocado pelas deformações plásticas locais nas bandas de cisalhamento). A diminuição da resistência mecânica iguala ou ultrapassa a resistência mecânica adquirida pelo endurecimento a frio. Esse processo é conhecido por ser um processo não convencional e um tanto peculiar, possibilitando assim a obtenção de cavacos segmentados.

Os cavacos, portanto, são considerados de suma importância para a usinagem dos materiais. O tipo dos cavacos, principalmente com relação às suas formas, nos diz muito sobre o processo de usinagem utilizado para obtê-los. Quanto à sua forma, são classificados em fita, helicoidais, em espiral, em lascas ou pedaços.

De acordo com Machado *et al.* (2009), muitos são os fatores que podem alterar as formas do cavaco, entretanto, ele diz que o fator mais relevante para a forma do cavaco é o próprio material da peça. Ou seja, quanto mais dúctil o material for, maior será a tendência em se obter cavacos contínuos.

Na figura 7 é averiguada a variação no processo de formação do cavaco ao se alterar dois parâmetros de corte, os quais são a profundidade de corte e o avanço. Alterando esses dois parâmetros, a temperatura de corte também será modificada, o que acarretará em variações na estrutura físico-química do material.



**Figura 7: Variações na formação dos cavacos devido aos parâmetros**  
**Fonte:** Ferraresi (1977)

É possível reconhecer que a partir do momento que a profundidade de corte aumenta e o avanço diminui, os resíduos sólidos tendem a vir em formato de fita, na forma contínua, devido ao aumento da temperatura e consequentemente da sua ductilidade. Da esquerda para a direita, conforme o avanço aumenta, os cavacos tendem a serem gerados na forma cisalhada e partida.

#### 2.4.2 Fluidos de corte

Os fluidos de corte são fundamentais para a usinagem dos materiais, especialmente do ponto de vista econômico. A sua utilização consiste na tentativa de diminuir os esforços de produção e trazer uma melhor qualidade superficial às peças usinadas. Para isso, é importante ter conhecimento sobre os fluidos de corte disponíveis no mercado, sua finalidade, propriedades específicas e composição química.

Segundo Ruffino (1977 apud MACHADO *et al.* 2009) o primeiro a descobrir os benefícios de se fazer uso de um fluido de corte foi Frederick Wisnslow Taylor, que contribuiu de maneira significativa em vários campos da engenharia. Ao usar uma grande

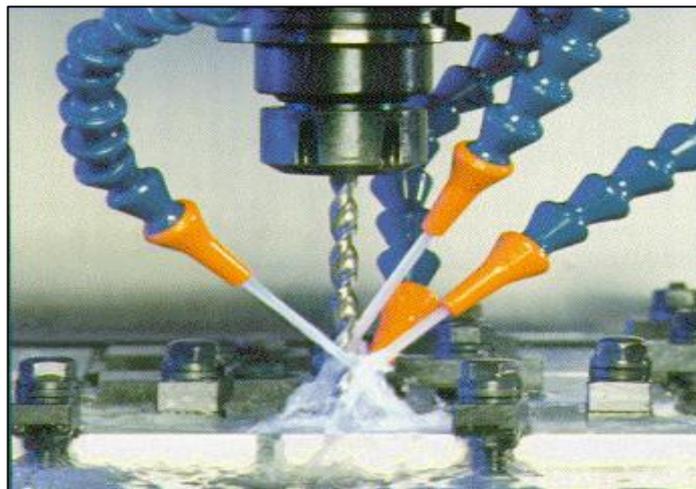
quantidade de água no processo, Taylor mostrou que era possível aumentar a velocidade de corte em até 33% sem prejuízo para a vida da ferramenta de corte. A partir de então, houve uma aceleração do desenvolvimento das máquinas ferramentas e dos materiais usados na usinagem, acarretando numa maior demanda por fluidos de corte.

Taylor descobriu um importante fator do uso dos fluidos que é o resfriamento da peça e ferramenta em questão. Por outro lado, os fluidos de corte são também muito requisitados por melhorar o acabamento superficial das peças usinadas quando age de forma a lubrificar a interface ferramenta/cavaco. Segundo Lansdown (2004) lubrificação é simplesmente o uso de um material para aumentar a suavidade do movimento de uma superfície sobre outra, sendo o material utilizado conhecido como lubrificante. Lubrificantes são geralmente líquidos ou semilíquidos, mas podem ser também sólidos ou gases, ou alguma combinação entre sólidos, líquidos e gases.

#### 2.4.2.1 Funções dos fluidos de corte

- Lubrificação a baixas velocidades de corte.
- Refrigeração a altas velocidades de corte.
- Remoção dos cavacos da zona de corte.
- Proteção da máquina-ferramenta e da peça contra oxidação.

A utilização de fluido de corte é observada na figura 8.



**Figura 8: Fluido de Corte**  
**Fonte:** Souza (2011)

Existem duas aplicações mais desejáveis para a utilização dos fluidos de corte. A primeira aplicação que acontece em baixas velocidades visa lubrificar a área de contato ferramenta/cavaco para assim evitar o desgaste por atrito, conseguindo um melhor acabamento superficial para a peça. O segundo fator requerido para um fluido de corte, é o de refrigerar a ferramenta e a peça, que alcançam altíssimas temperaturas quando submetidas às altas velocidades de corte. Na tabela 1 observam-se os tipos de fluidos e suas principais características.

**Tabela 1: Tipos de fluido de corte**

<b>Fluidos</b>	<b>Tipos</b>	<b>Características</b>	<b>Exemplos</b>
<b>Compostos Orgânicos</b>	<b>1. Óleos</b>	<b>De origem vegetal ou animal, uso em forma integral.</b>	<b>Óleo mineral e óleo vegetal (mamona, girassol, etc.)</b>
	<b>2. Emulsões</b>	<b>Compostos de óleos minerais adicionados à água mais agentes emulsificantes</b>	<b>'Óleos solúveis';</b>
<b>Compostos não Orgânicos</b>	<b>3. Sintéticos</b>	<b>Compostos de óleos minerais adicionados à água mais agentes emulsificantes</b>	<b>Soluções.</b>

**Fonte:** Costa & Lisboa (2015)

→ Fluido de corte à base de óleo:

De acordo com Mamidi e Xavier (2012) também é conhecido como óleo puro por não conter água em sua composição. São obtidos a partir do refino do petróleo e outros compostos minerais. Mamidi (2003) ainda diz que é possível que se adicione certos aditivos para melhorar propriedades mais específicas, mas essa adição é desnecessária para os casos mais simples. Ainda segundo ele, para aplicações mais severas, muitas vezes é necessária a adição de certos aditivos para aumentar a molhabilidade do fluido em uso.

### → Óleo solúvel

Óleo solúvel (também conhecido como emulsões ou óleos solúveis em água) é geralmente composto de 60% a 90% de petróleo ou óleo mineral, bem como outros aditivos. Um concentrado é misturado com água para formar o fluido de corte. Quando misturado, o emulsionante (material parecido com sabão) faz com que o óleo se dissolva na água, formando uma emulsão consideravelmente estável (MAMIDI & XAVIOR, 2012). O autor relata que os óleos solúveis são altamente desejáveis por oferecerem grandes capacidades de resfriamento e lubrificação devido ao fato de ocorrer a mistura entre óleo e água.

### → Fluido Sintético

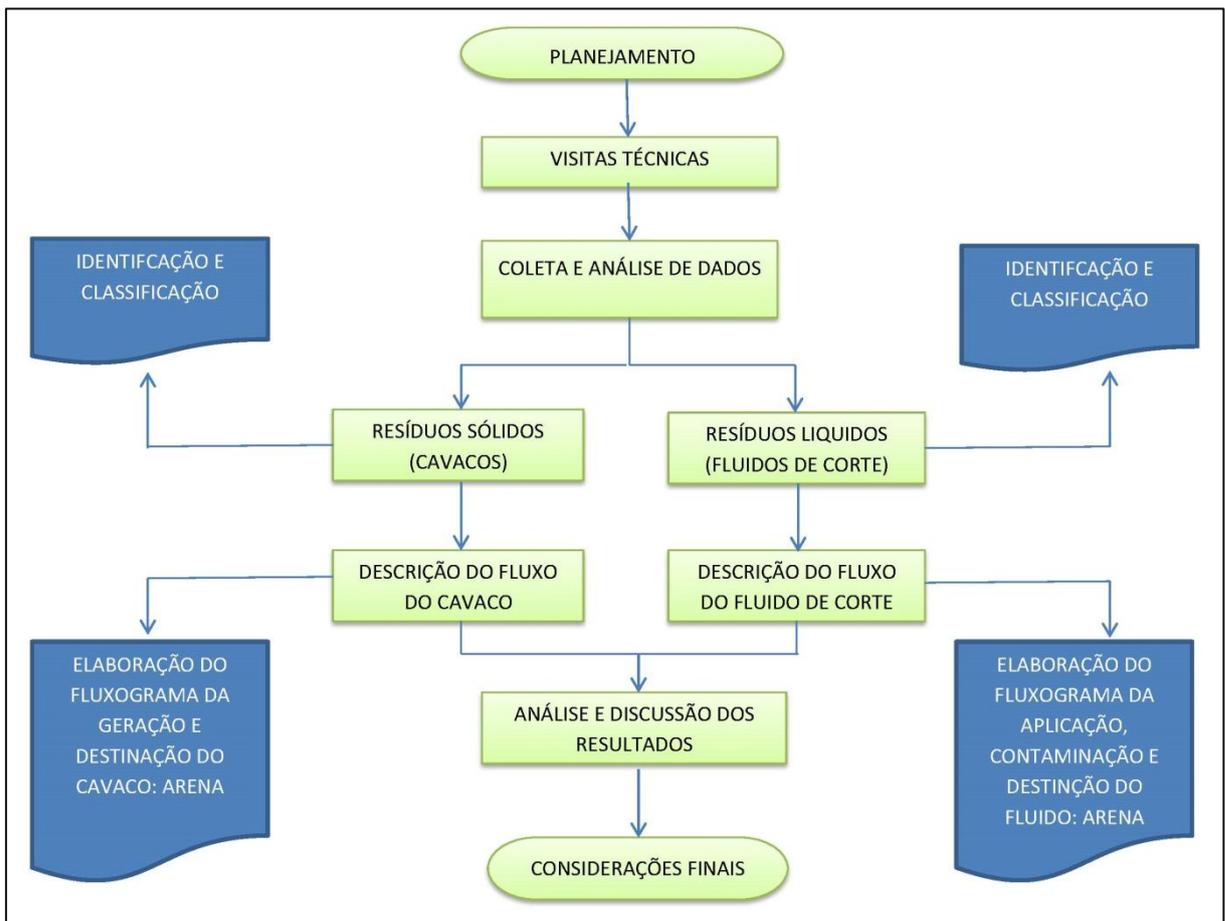
Fluidos sintéticos não contêm petróleo ou qualquer tipo de óleo mineral. Geralmente consistem de lubrificantes químicos e antioxidantes dissolvidos em água. Assim como óleos solúveis, os fluidos sintéticos são concebidos como um concentrado que ao se misturar com água forma o fluido de corte. Mamidi e Xavier (2012) salientam que esses fluidos são designados para processos de usinagem que requeiram altas capacidades de resfriamento, lubrificação, prevenção de corrosão e fácil manutenção. Devido a sua alta capacidade de resfriamento, os fluidos sintéticos são preferidos para operações que envolvam altas temperaturas de corte, altas velocidades de corte, bem como altas taxas de atrito na superfície ferramenta/peça.

### → Óleos orgânicos

Machado *et al.* (2009) diz que os óleos de origem vegetal e animal foram os primeiros óleos a serem implantados como óleos integrais na usinagem dos metais. Entretanto, atualmente esses óleos não vêm sendo utilizados, devido ao seu alto custo, e rápida deteriorização. Machado *et al.* (2009) diz também que tanto seu calor específico quanto sua condutividade térmica, causa nesses fluídos de corte condições indesejáveis na usinagem a altas temperaturas, mesmo sabendo que possuem boas características lubrificantes.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho pode ser dividida em sete partes: planejamento, visitas técnicas, coleta e análise de dados, identificação e classificação dos dados coletados, descrição do fluxo dos resíduos, análise e discussão dos resultados, e por fim as considerações. O fluxograma das atividades realizadas encontra-se detalhado na figura 9.



**Figura 9: Fluxograma de procedimentos**

**Fonte:** Autoria própria (2015)

Na parte de planejamento foi feita a revisão da literatura da usinagem dos materiais, com o objetivo de aprofundar no tema e desenvolver uma visão mais crítica. Foi dada maior ênfase nos processos de usinagem no torno mecânico convencional, e nos resíduos gerados nos processos envolvendo metais, sendo eles os cavacos (resíduos sólidos) e os fluidos de corte (resíduos líquidos).

Com a aquisição de maior conhecimento sobre a usinagem, foi viável a realização de visitas técnicas. Essas visitas foram importantes para um maior entendimento dos conceitos

fundamentais da usinagem adquiridos a partir da leitura dos textos, e possibilitaram a realização da etapa subsequente, que foi a coleta e análise dos dados. Essa parte do processo metodológico foi crítico não só por possibilitar a coleta de pequenas amostras de cavacos e fluidos de corte, mas também por permitir o diálogo com os colaboradores das oficinas em questão, e aplicação de questionários que permitiram uma análise mais qualitativa acerca do estudo proposto. Na figura 10 observa-se um torno mecânico utilizado por uma das empresas de usinagem visitadas.



**Figura 10: Torno mecânico**

**Fonte:** PROEXT “Teoria do Corte” 2014/2015, empresa Usinagem Rio Doce

Posteriormente a coleta dos dados nas oficinas, resíduos sólidos e líquidos foram tratados de maneiras diferentes para que o estudo do seu fluxo refletisse o que foi verificado na prática. O cavaco, enquanto resíduo sólido foi identificado e classificado, tendo a completa descrição do seu fluxo, assim como os fluidos de corte. O *software* Arena foi utilizado nesta seção para a elaboração dos respectivos fluxogramas.

Finalmente a análise e discussão dos resultados foram concebíveis. Conhecendo-se o fluxo de cada resíduo no processo, puderam-se identificar métodos de descarte nocivos ao meio ambiente. Com isso, métodos alternativos de descarte consciente respeitando as normas ambientais que regulamentam o descarte foram propostas.

### 3.1 Natureza da pesquisa

Para Gerhardt e Silveira (2009) é razoável classificar uma pesquisa quanto a sua natureza em dois tipos: pesquisa básica ou pesquisa aplicada. Este trabalho por sua vez é de natureza aplicada, pois visa aplicar na prática aquilo que foi previamente estudado na teoria, objetivando solucionar um problema.

Os dados qualitativos foram obtidos por meio de estudo do referencial teórico e com a ajuda de visitas técnicas que possibilitaram o recolhimento dos dados por meio de entrevistas com os colaboradores e proprietários das oficinas, além da aplicação de questionário.

### 3.2 Classificação da pesquisa

Para Gerhardt e Silveira (2009) uma pesquisa pode ser classificada a partir dos seus objetivos (explicativa, descritiva ou exploratória), quanto a sua abordagem (qualitativa ou quantitativa) e quanto aos seus procedimentos (bibliográfica, experimental, documental, pesquisa de campo, *ex-post-facto*, de levantamento, com *Survey*, estudo de caso, participante, pesquisa-ação, etnográfica e etnometodológica).

Com relação aos objetivos, este trabalho pode ser classificado como explicativo, pois pretende apontar fatores relacionados ao descarte dos resíduos da usinagem dos materiais que não estão em consonância com as normas ambientais vigentes. Além de apontar tais fatores, este trabalho de conclusão de curso também busca propor soluções para os problemas relacionados ao manejo inadequado dos resíduos gerados.

Quanto a abordagem, trata-se de uma pesquisa qualitativa uma vez que foi feita uma avaliação dos processos nas próprias oficinas de usinagem visitadas. Sua maior preocupação está em apontar as causas dos acontecimentos e apontar o que necessita ser feito (GERHARDT & SILVEIRA, 2009).

Por fim, essa pesquisa pode ser classificada como pesquisa de campo, no que se refere aos procedimentos, pois foi feita visitas em inúmeras oficinas na cidade de Governador Valadares-MG, não se restringindo a uma única empresa.

### 3.3 Metodologia do projeto de pesquisa

Para a realização deste trabalho foi necessário primeiramente a revisão bibliográfica do tema em questão, com ênfase nos conceitos e princípios fundamentais da usinagem. Posteriormente visitas técnicas foram realizadas nas oficinas metal-mecânicas da cidade de Governador Valadares-MG. Ao todo foram visitadas 15 empresas entre retíficas e tornearias, todas elas sendo consideradas empresas de pequeno porte com atuação apenas no mercado interno da cidade em questão. Algumas delas até mesmo destacando-se por serem de âmbito familiar. Entretanto, o contato com as empresas mencionadas, só foi possível graças à disponibilidade de portfólio com dados relativos às empresas, proprietários e localização conseguidos pelo mapeamento realizado pelo projeto de extensão “Teoria do corte dos materiais” realizado no Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Governador Valadares entre os anos de 2014 e 2015, projeto que faz parte do Programa Institucional de Bolsas de Extensão (PIBIX) vinculado a Coordenação de Extensão do IFMG, o qual o autor deste trabalho foi integrante (SILVA et al. 2012).

As visitas tiveram como finalidade o melhor entendimento dos conceitos analisados anteriormente durante a revisão da literatura bem como a coleta e análise dos dados de processo de usinagem no torno mecânico. Tudo isso contribuiu de maneira qualitativa para a pesquisa.

Após as visitas técnicas terem sido realizadas, foi possível fazer o tratamento dos dados coletados. Esses dados foram coletados com o auxílio de planilhas e questionários. As planilhas tiveram como principal preocupação verificar quais os tipos de fluidos de corte eram utilizados pelas oficinas visitadas, tais como óleos biodegradáveis e óleos de origem mineral, como os óleos solúveis. Ao mesmo tempo, questionários foram aplicados visando identificar os procedimentos realizados por cada empresa no descarte de seus resíduos. Esses questionários podem ser encontrados ao final deste trabalho em anexo.

A partir de então, o *software* Arena foi utilizado com a finalidade de desenvolver o fluxograma do processo mostrando como os resíduos são coletados, armazenados e tratados após a usinagem. Finalmente, puderam-se verificar quais medidas deveriam ser tomadas a fim de minimizar os impactos ambientais gerados pelo descarte irregular dos resíduos.

## 4 PESQUISA DE CAMPO

A pesquisa de campo realizada foi extremamente importante para a concepção deste trabalho. Nas visitas, ficou claro que existem falhas no modo de coleta e armazenamento de certos resíduos por parte das empresas, além de carecerem de métodos mais padronizados no destino dos mesmos. Não obstante, as empresas mostraram-se em alguns casos não terem preocupação alguma com a questão ambiental, fazendo o descarte irregular de determinados resíduos. Os operadores e donos das empresas em geral não tinham consciência dos impactos causados pelo descarte irregular por elas feito, e a destinação final adequada dos resíduos parecia ser tratada como desnecessária. Como agravante, a fiscalização parece ser deficiente e muitas vezes conivente com esta situação. Durante as visitas técnicas foi possível registrar imagens das dependências de algumas oficinas, como a verificada na figura 11.



**Figura 11: Visita técnica na oficina**  
**Fonte:** Aatoria própria (2016)

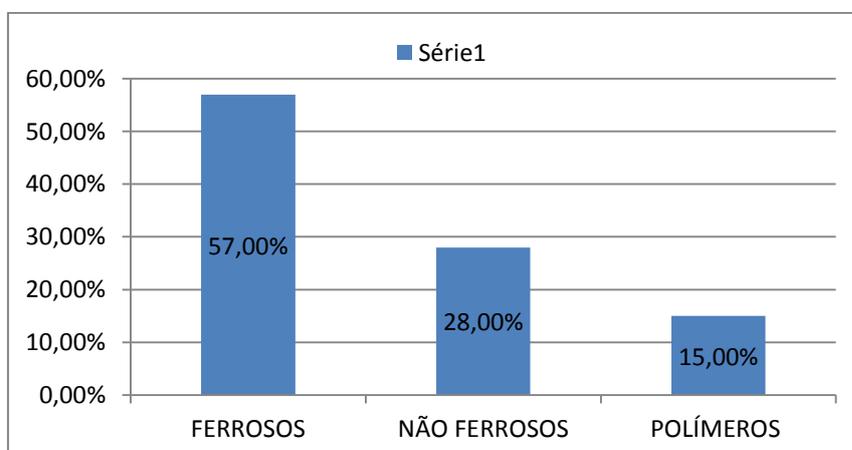
## 4.1 Levantamento dos dados do resíduo sólido - Cavaco

Foram levantados dados referentes aos tipos de materiais utilizados, à proporção que se utiliza cada material, e a forma como os resíduos provenientes do uso desses materiais são tratados após as operações.

### 4.1.1 Materiais utilizados na usinagem

A partir das visitas técnicas pôde-se notar a utilização de três tipos diferentes de materiais usados na usinagem em Governador Valadares-MG, sendo eles os metais ferrosos, os metais não ferrosos e os polímeros. Os números a seguir representam uma aproximação daquilo que foi encontrado nas oficinas de usinagem da cidade com relação as suas proporções no processo. Esses dados foram coletados a partir de conversas com os colaboradores e proprietários das oficinas bem como aplicação de formulários para coleta de informações.

Com a coleta de dados, e a observação possibilitada pelas visitas técnicas nas oficinas, verificou-se que o cavaco, como sendo o resíduo sólido da usinagem, é coletado por um tambor ao final da operação de usinagem, e armazenado neste mesmo tambor para ser posteriormente enviado para outras localidades. De acordo com os colaboradores e proprietários das empresas, mais de 50% desse resíduo é composto de metais ferrosos, entre 25% e 50% de metais não ferrosos, e uma parcela menor do que 25% de polímeros. A figura 12 apresenta esses percentuais aproximados.



**Figura 12: Gráfico dos volumes de material em %**

**Fonte:** Autoria própria (2015)

#### 4.1.2 Coleta e armazenamento do cavaco

Depois de escolhido o material, inicia-se o processo no torno, no qual materiais diferentes tiveram sido usinados anteriormente, não ocorrendo, portanto, a diferenciação dos materiais no tambor coletor. Assim, os cavacos de diferentes tipos de materiais são colocados juntos no mesmo local de armazenagem, não se caracterizando como método eficiente de coleta seletiva do resíduo. Observa-se na figura 13 como os cavacos de materiais diferentes se misturam.



**Figura 13: Cavaco de usinagem coletado em tambor**

**Fonte:** PROEXT “Teoria do Corte” 2012/2013, empresa Exata Mecânica

#### 4.2 Levantamento dos dados do resíduo líquido – Fluidos de corte

Foram levantados dados referentes ao tipo de fluido de corte utilizado, suas características químicas, e a forma como a coleta, armazenagem e descarte desse resíduo eram gerenciados pelas empresas.

##### 4.2.1 Tipo de fluidos utilizados

Anteriormente às visitas, existiam poucas informações sobre o tipo de fluido utilizado nas oficinas. Entretanto, analisando a literatura, esperava-se maior utilização de fluidos a base de óleo vegetal ou animal por serem de base orgânica. Dentre algumas vantagens, destacam-se a rápida degradação quando dissolvidos em água, e mesmo a possibilidade de serem

reutilizados em processos de fabricação de sabão. Embora os fluidos orgânicos possuam estas desejáveis características, a sua rápida degradação representa também um ponto negativo, e o seu custo torna-o inviável para algumas empresas. Dessa forma, a pesquisa realizada mostrou que grande parte dos fluidos de corte usados nas oficinas da cidade é em geral de origem mineral. A tabela 2 apresenta o resultado da pesquisa feita nas oficinas parceiras.

**Tabela 2: Questionário dos tipos de fluido e seu descarte**

Tipo de fluido e descarte	Empresas					
	Alfa	Beta	Gama	Omega	Delta	Teta
Fluido Orgânico	-	-	-	-	-	
Óleo solúvel (mineral e água)	x	x	x	x	x	x
Descarte irregular	x	x	x	x	x	x

**Fonte:** Costa & Lisboa (2015), ADAPTADO (2016)

Os óleos solúveis têm a finalidade de reduzir a temperatura na região de corte para assegurar uma maior vida útil para a ferramenta, impedir que a peça seja concebida em formas irregulares, garantir que as peças atendam as exigências dimensionais bem como melhorar o acabamento superficial da peça. Esse material pode ser observado na figura 14.



**Figura 14: Fluido de corte (óleo solúvel) em oficina de Governador Valadares-MG**  
**Fonte:** Costa & Lisboa (2015)

Embora tenha sido importante a coleta de informações referentes aos tipos de fluidos utilizados nas operações, a finalidade das visitas era entender como funciona o processo de coleta, armazenagem e descarte desses resíduos.

#### 4.2.2 Coleta e armazenagem do fluido de corte

O resíduo de corte na forma dos fluidos é também coletado ao fim do seu uso, embora seja colocado em recipiente não apropriado antes mesmo de ser descartado no meio ambiente inadequadamente. Infelizmente, o que é percebido é que não existem políticas públicas municipais eficientes nesta cidade. A foto apresentada na figura 15 foi conseguida em visita a uma oficina da cidade de Governador Valadares-MG e nela pode ser observado como é coletado e armazenado o fluido de corte.

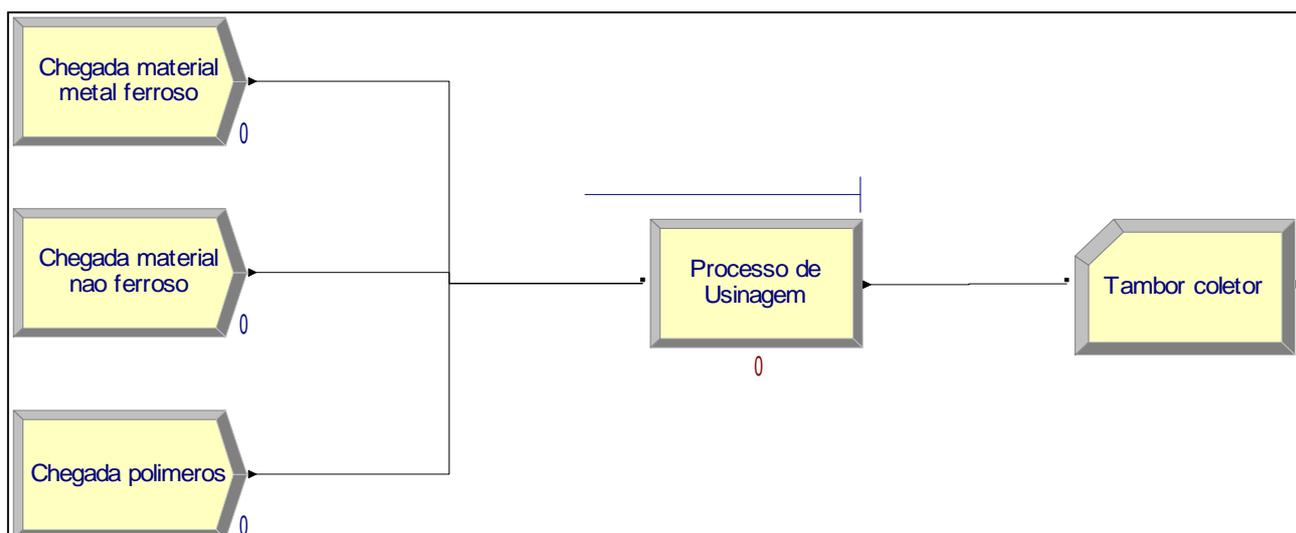


**Figura 15: Fluido de corte descartado por uma oficina em Governador Valadares**  
**Fonte:** Costa & Lisboa (2015)

## 5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Utilizando os dados obtidos a partir das visitas técnicas, foram desenvolvidos fluxogramas com a utilização do software Arena. Realizadas as construções dos fluxogramas, foi plausível afirmar que os cavacos (resíduos sólidos) recebem a destinação adequada nas oficinas visitadas. O armazenamento de resíduos é definido pela NBR 12.235/92 como a “Contenção temporária de resíduos, em área temporária autorizada pelo órgão de controle ambiental, à espera de reciclagem, recuperação, tratamento ou disposição final adequada, desde que atenda as condições básicas de segurança”.

Assim, a norma NBR 12.235/92 estabelece certos parâmetros que devem ser seguidos para o armazenamento de resíduos perigosos em contêineres, tambores, tanques e a granel (SIMIÃO, 2011). Na figura 16 observa-se o fluxograma dos resíduos sólidos.



**Figura 16: Fluxograma do cavaco (Arena)**

**Fonte:** Autoria própria (2016)

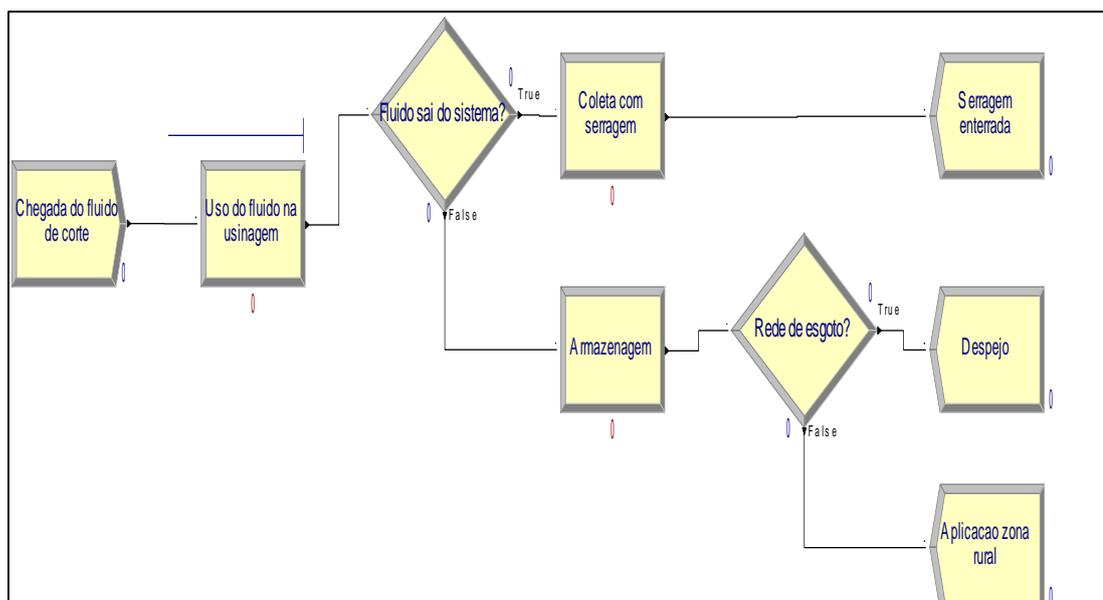
Dessa maneira, a análise do fluxograma apresentado na figura 16 caracteriza que a destinação dos cavacos (resíduos sólidos) é feita de maneira correta uma vez que este resíduo é armazenado em tambores acoplados aos tornos mecânicos, e posteriormente levados para instalações próprias para o seu descarte em outras localidades. Entretanto, todo e qualquer cavaco é lançado nos contêineres sem que suas características sejam levadas em consideração, não ocorrendo a coleta seletiva do mesmo.

Por outro lado, com relação aos fluidos de corte a Resolução CONAMA 362/05 diz que "É proibido, em todo território nacional, a destinação de óleos lubrificantes minerais usados ou contaminados para outros fins que não o refino". E ainda salienta que todo óleo

lubrificante usado ou contaminado deverá ser recolhido, coletado e ter destinação final, de modo que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos seus constituintes, na forma prevista nesta Resolução.

Como exposto pela Resolução CONAMA 362/05, a utilização dos fluidos de corte de base mineral requer o cumprimento de certas normas relacionadas ao descarte dos resíduos líquidos com vistas a reduzir os impactos ambientais por eles causados. Entretanto, o que se vê na prática é que muitas dessas normas não são rigorosamente cumpridas, especialmente quando se trata de empresas menores onde os órgãos fiscalizadores não têm o contato devido. Além disso, como verificado por meio da pesquisa, as oficinas investigadas em sua totalidade não apresentam o uso dos fluidos de corte biodegradáveis em suas atividades, o que amenizaria impactos ambientais relacionados ao descarte. Lawal (2013) alerta que óleos vegetais são viáveis e são também fontes renováveis de óleos ambientalmente benignos.

Dessa forma, o processo de descarte dos fluidos de corte não está em consonância com as normas regulamentadoras, por não receberem destinação adequada. Foi verificado que o fluido solúvel é utilizado pelos operadores repetitivamente durante os processos de usinagem enquanto o mesmo possui viscosidade relativamente suficiente para o uso. Dessa forma, acredita-se que o fluido de corte torna-se inócuo ao meio ambiente após serem misturados em água inúmeras vezes, sendo lançado na rede de esgoto após o uso. O fluxo do fluido de corte foi desenvolvido com a ajuda do Arena e é descrito na figura 17.



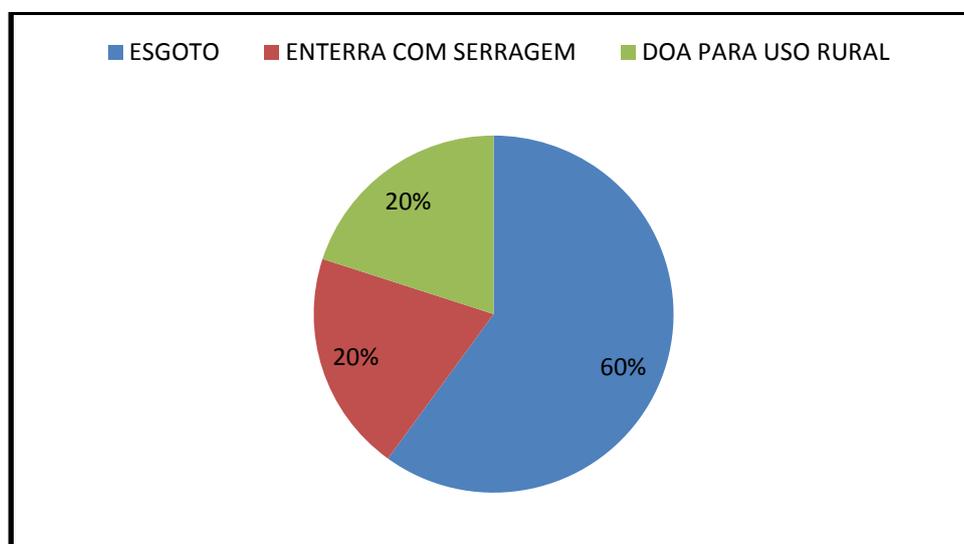
**Figura 17: Fluxograma do fluido de corte (Arena)**

**Fonte:** Autoria própria (2016)

Analisando o fluxograma da figura 17, é possível notar que este resíduo não está recebendo destinação adequada, contribuindo negativamente para a poluição do solo e das águas.

Após ser coletado e armazenado, o fluido de corte é lançado na rede de esgoto sem nenhum tratamento prévio ou análise química para verificar seu potencial de contaminação. Outro caso peculiar acontece em momentos que este resíduo se espalha no piso das oficinas visitadas. O método utilizado por operadores e proprietários consiste em usar pó de serra para que este possa aderir-se ao fluido desperdiçado. Após coletar o fluido de corte com o uso da serragem, o mesmo é levado para um local aleatório e em seguida enterrado, encerrando-se assim o ciclo do fluido.

Outro método encontrado pelos donos de empresas de usinagem em Governador Valadares-MG para desfazerem-se dos resíduos líquidos é doá-los para proprietários rurais da região. Os proprietários por sua vez, aplicam o fluido em mourões e peças de madeira para aumentar o tempo de vida desses materiais. O gráfico observado na figura 18 mostra o percentual de cada medida adotada na destinação final dos fluidos de corte.



**Figura 18: Gráfico da destinação dos fluidos de corte em Governador Valadares-MG**  
**Fonte:** Costa & Lisboa (2015)

Como mostrado na figura 18, mais da metade do fluido de corte gerado no processo, cerca de 60%, é diretamente lançado na rede de esgoto, contaminando as águas.

Não obstante, 20% desse resíduo são coletados por meio do uso de pó de serra e posteriormente enterrado, acreditando que tal fato amenizará os danos ambientais. Entretanto, é possível que esse procedimento acarrete na contaminação do solo, e provavelmente

contaminará também o lençol freático. Portanto, não se apresenta como um método eficiente de destinação final deste resíduo.

Finalmente, os 20% restante são doados para propriedades rurais para que sejam aplicados em objetos de madeira, o que se comparado aos demais métodos seria o menos agressivo. Por meio da experimentação, donos de propriedades rurais têm verificado que utilizando os fluidos de corte na superfície da madeira, especialmente em mourões de cancelas e cercas, eles conseguiriam aumentar o tempo de vida desses materiais, reduzindo seus custos com reparos e trocas em longo prazo.

A seguir são apresentadas sugestões para adequada destinação dos resíduos:

Não há que se falar em métodos corretivos para a destinação do cavaco, já que o atual procedimento não causa danos ao meio. Entretanto, é possível sugerir medidas capazes de agregar valor ao resíduo. Uma delas é a coleta seletiva, coletando os materiais de acordo com o seu tipo, e enviá-los para reciclagens específicas. Essa proposta é observada na tabela 3.

**Tabela 3: Proposta de reciclagem para oficinas de Governador Valadares-MG**

<b>MATERIAL/DESTINAÇÃO</b>	<b>Reciclagem por fundição</b>	<b>Reciclagem por conformação</b>	<b>Reciclagem química</b>	<b>Descarte na natureza</b>
<b>Ferrosos (Aços e Ferro fundido)</b>	X			
<b>Não ferrosos (Alumínio, Bronze e Latão)</b>	X	X		
<b>Polímeros (Nylon, Teflon)</b>		X	X	

**Fonte:** Autoria própria (2016)

Fazer a coleta seletiva deste material iria permitir que fosse utilizado em processos de fabricação alternativos, reduzindo o seu impacto ambiental.

Entretanto, fluidos de corte devem receber destinação mais apropriada, visando reduzir seu impacto ambiental. Sugere-se utilizar técnicas alternativas de produção, conhecidas como “limpas”, para o descarte desses resíduos, visando minimizar desperdícios ao longo da cadeia de produção, e prezando pela sustentabilidade e atendimento das normas vigentes. Verificam-se na tabela 4 técnicas de produção limpa propostas para os resíduos líquidos.

**Tabela 4: Técnicas de produção limpa**

Técnicas	Características
1. Modificação na tecnologia (Mínima quantidade de fluido)	Redução do uso de fluido de corte no processo
2. Modificação do produto	Redução da matéria-prima e do resíduo
3. Reciclagem interna	Tratamentos para a reciclagem do produto para que volte ao processo
4. <i>Housekeeping</i>	Maior vida útil dos fluidos, menor frequência de descarte; menor agressão à saúde do trabalhador.

**Fonte:** Costa & Lisboa (2015), ADAPTADO (2016)

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos e discussões realizadas, conclui-se que:

A análise dos resultados coletados para o cavaco mostra que esse resíduo está recebendo tratamento adequado, estando de acordo com o que sugere as normas regulamentadoras. Os resíduos sólidos como mostrado no fluxograma da figura 16 e pelos demais dados adquiridos, é armazenado em local adequado, e posteriormente encaminhado para empresas especializadas em fazerem seu armazenamento definitivo.

Com relação aos fluidos de corte, o estudo do ciclo do fluido nas oficinas visitadas apontou uma série de irregularidades existentes no manejo desse resíduo. As anormalidades encontradas nos métodos utilizados pelas empresas vão desde o processo de seleção do resíduo (em todos os casos os fluidos de origem mineral são escolhidos e nunca os de origem vegetal) até o processo de descarte do mesmo. Os erros mais graves cometidos pelas empresas são:

- Coletar e armazenar os fluidos de corte em local inadequado após o uso
- Crença na perda de nocividade dos fluidos de corte após serem misturados com água diversas vezes e lançá-los na rede de esgoto
- Limpar e enterrar o fluido de corte com serragem após parte do mesmo ter sido perdido nas dependências das empresas

Porém, sabe-se que parte desse resíduo (20%) é destinada para propriedades rurais que fazem o seu uso em utensílios de madeira, para que o seu tempo de vida seja aumentado. Embora, possa-se pensar que é uma forma menos danosa de descartar esse resíduo, ainda assim não existem estudos que comprovem seu benefício e/ou malefício, sendo necessário um estudo químico mais apurado.

Dessa forma, algumas sugestões para trabalhos futuros são apresentadas:

- Continuidade ao estudo com análise química dos fluidos com o objetivo de identificar se são realmente danosos ao meio ambiente após seu uso pelas oficinas.

- Estudar empresas especializadas na coleta final dos cavacos e verificar se são submetidos a processos de reciclagem.
- Verificar na literatura formas alternativas de tratamento do fluido de corte para que o mesmo possa ser reutilizado no processo.
- Estudar formas alternativas de coletar o fluido de corte visando minimizar sua perda no sistema.

## REFERÊNCIAS

ALVES, S.M; DE OLIVEIRA, J. F. G. **Vegetable Based Cutting Fluid – An Environmental Alternative To Grinding Process**. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.235: armazenamento de resíduos sólidos perigosos**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.

CONAMA - Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução N° 362/05. Dispõe Sobre O Recolhimento, Coleta E Destinação Final De Óleo Lubrificante Usado Ou Contaminado**. Brasília, SEMA, 2005.

COSTA, K.A.C; LISBOA, A.C.L. **Fluidos De Corte Com Base Orgânica**. 2015. (Graduação Em Engenharia De Produção). Instituto Federal De Minas Gerais.

DELFINO, Eneida Lopes de Moraes. **O estudo da produção enxuta na eliminação de desperdícios e sua aplicação em uma empresa de gelados comestíveis**, 2014. (Graduação Em Engenharia De Produção). Instituto Federal De Minas Gerais – Campus Governador Valadares.

Ferramentas De Corte: **Sandvik. Ferramentas De Corte**. Catálogo Sweden: Sandvick Coromant., In Portuguese.2013.

FERRARESI, D. **Fundamentos Da Usinagem Dos Metais**. 9a. Ed. Editora Edgard, V.1, Blucherltda, São Paulo. 1977.

FREDIANI, A.D.C. **Reaproveitamento Dos Resíduos De Usinagem: Estudo De Caso Na Indústria Automotiva**. 2010. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1ª ed. Porto alegre: editora da UFRGS, 2009.

GONÇALVES, M.A.F. **Processos Industriais**. Santa Maria. 2011.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO 513/2004. Classificação e aplicação de materiais de corte duros para remoção, com arestas de corte definidos**. 2004.

LANSDOWN, A.R. **Lubrication and Lubricant Selection: A Practical Guide**, 3rd edition, Published by Professional Engineering Limited, London, United Kingdom, 2004.

LAWAL, Sunday Albert. **A Review of Application of Vegetable Oil-Based Cutting Fluids in Machining NonFerrous Metals**. Federal University Of Technology. 2013.

MACHADO, Á. R.; ABRÃO, A. M.; COELHO, R. T.; DA SILVA, M. B. **Teoria Da Usinagem Dos Materiais**. 1. Ed. São Paulo - Sp: Edgard Blucher, 2009.

MAMIDI, Vamsi Krishna; XAVIOR, M. Anthony. 2012. **A Review On Selection Of Cutting Fluids**. National Monthly Refereed Journal Of Reasearch In Science & Technology. Vol. 1.

MCGEOUGH, J.A. **Advanced Methods Of Machining**. 1988.

MUNIZ, C.A.S. **Novas Formulações De Fluidos De Corte: Otimização, Propriedades E Recuperação Do Óleo Usado**. 2008. (Tese De Doutorado). Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte.

SILVA, Sandro Da Costa; CANGUSSU, Vinicius Melo, ELER, Mayara Luzada, FREITAS, Thiago André, SANTOS, Daniel Profeta Moreira. **Projeto De Extensão: Teoria Do Corte Dos Materiais**. Governador Valadares, IFMG, 2013.

**SIMIÃO, J. Gerenciamento De Resíduos Sólidos Industriais Em Uma Empresa De Usinagem Sobre O Enfoque Da Produção Mais Limpa.** 2011. (Tese De Mestrado). Universidade De São Paulo.

**SOUZA, A.J. Apostila: Processos De Fabricação Por Usinagem.** 2011.

**STOETERAU, Rodrigo Lima. Apostila: Fundamentos Dos Processos De Usinagem.** 2004.

## ANEXOS

### Anexo A: Formulário de resíduos sólidos

<h3>Coletada de dados do cavaco</h3> <p>Qual o tipo de material das peças?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div> <p>Existe coleta seletiva dos cavacos?</p> <p><input type="radio"/> Sim</p> <p><input type="radio"/> Não</p> <p>Como o cavaco é coletado?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div> <p>Como o cavaco é descartado após sua coleta?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 100px; width: 100%;"></div>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## Anexo B: Formulário de resíduos líquidos

**Formulário para coleta de dados**

**Quais os tipos de fluidos de corte utilizados?**

- Fluido à base de óleo
- Óleo solúvel
- Fluido sintético
- Fluido orgânico

**Qual a utilidade do fluido?**

**Como o fluido é armazenado e descartado?**